数控机床典型系统模块化维修丛书

数控机床 SINUMERIK 系统模块化维修



刘胜勇 编著



分享维修经验精髓
迅速掌握维修精华
成就职业规划提升



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

本书从数控机床的设计角度出发，基于机床制造过程中零部件的系列化和标准化提出了模块化维修的观点，并以数字化电信号的流向为线索，对SINUMERIK系统、SIMODRIVE和SINAMICS驱动系统、西门子伺服执行元件的功能连接及常见故障和排除方法进行了细致的分块讲述；同时对提高机床自动化程度而附加的液压系统、润滑系统、气动系统、冷却装置和排屑装置，在S7－200/300 PLC逻辑控制的前提下，以工作介质的流动为线索，通过实例应用详细介绍了它们的控制过程、常见故障与排除方法。

本书既可作为研究单位和企业从事数控机床设计、维修、调试和培训工作的工程技术人员的参考书，也可作为高等学校相关专业的参考教材。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床SINUMERIK系统模块化维修/刘胜勇编著．—北京：机械工业出版社，2013.10
（数控机床典型系统模块化维修丛书）
ISBN 978-7-111-43487-0

Ⅰ.①数… Ⅱ.①刘… Ⅲ.①数控机床－模块化程序设计 ②数控机床－维修 Ⅳ.①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第172120号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：周国萍 责任编辑：周国萍 张元生
版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔
封面设计：马精明 责任印制：李 洋
三河市国英印务有限公司印刷
2014年1月第1版第1次印刷
184mm×260mm·42印张·1175千字
0 001—2500册
标准书号：ISBN 978-7-111-43487-0
定价：129.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑（010）88379733

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203

网络服务
教材网：http：//www.cmpedu.com
机工官网：http：//www.cmpbook.com
机工官博：http：//weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

前　　言

数控机床是基于计算机控制技术平台，高度集成了机械、电气、液压和气动等多学科知识的机电一体化产品，因其高精度、高速度和高效率及加工灵活可变的特点，被广泛应用于各行各业的制造过程中。目前，在许多场合它已成为企业保证产品质量，提高生产效率和提升管理水平的关键设备之一。由此，对数控机床准确地进行故障诊断与快速维修也越来越显得重要，有时甚至会成为制约企业生产环节的“瓶颈”。

为迅速提高数控维修人员的维修技能，使其在面对采用了802Dsl、828D、840D与840Dsl等SINUMERIK系统的车床、铣床、磨床、加工中心和齿轮加工机床等数控设备的维修时，可熟练应用数控维修基础理论和故障实例的维修经验，简化机床故障的分析过程，快速解决数控机床的每一个突发问题，从而提高维修效率和缩短机床停机时间，并使维修人员快速成长为企业的复合型高技能人才，特编写本书。

本书从数控机床的设计角度出发，基于机床制造过程中零部件的系列化和标准化提出了模块化维修的观点，并以数字化电信号的流向为线索，对SINUMERIK系统、SIMODRIVE和SINAMICS驱动系统、西门子伺服执行元件的功能连接及常见故障和排除方法进行了细致的分块讲述；同时对提高机床自动化程度而附加的液压系统、润滑系统、气动系统、冷却装置和排屑装置，在S7－200/300 PLC逻辑控制的前提下，以工作介质的流动为线索，通过实例应用详细介绍了它们的控制过程、常见故障与排除方法。

本书是继《数控机床FANUC系统模块化维修》之后，推出的又一类型的数控系统模块化维修书籍，既可作为研究单位和企业从事数控机床设计、维修、调试和培训工作的工程技术人员的参考书，也可作为高等学校相关专业的参考教材。

本书共分6章，第1章为SINUMERIK系统及故障维修，第2章为SIMODRIVE和SINAMICS驱动系统及故障维修，第3章为西门子伺服执行元件及故障维修，第4章为数控机床辅助装置及故障维修，第5章为数控机床通信及网络控制技术，第6章为S7－200/300 PLC在SINUMERIK系统中的应用及维护。

因本书涵盖内容广泛和编著者水平有限，加之数控技术发展迅速，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评、指正。

编著者
于济南

目　　录

前言
第 1 章　SINUMERIK 系统及故障维修 …… 1
1.1　SINUMERIK 802S base line 系统 ………… 1
1.1.1　SINUMERIK 802S base line 的结构组成 …… 2
1.1.2　SINUMERIK 802S base line 的功能连接 …… 3
1.1.3　SINUMERIK 802S base line 系统报警及故障维修 …… 6
1.2　SINUMERIK 802C base line 系统 ………… 7
1.2.1　SINUMERIK 802C base line 的结构组成 …… 7
1.2.2　SINUMERIK 802C base line 的功能连接 …… 8
1.2.3　SINUMERIK 802C base line 系统报警及故障维修 …… 10
1.3　SINUMERIK 802D 系统 ………… 12
1.3.1　SINUMERIK 802D 的结构组成 …… 12
1.3.2　SINUMERIK 802D 的功能连接 …… 13
1.3.3　SINUMERIK 802D 系统报警及故障维修 …… 19
1.4　SINUMERIK 802D solution line 系统 …… 20
1.4.1　SINUMERIK 802D solution line 的结构组成 …… 21
1.4.2　SINUMERIK 802D solution line 的功能连接 …… 24
1.4.3　SINUMERIK 802D solution line 系统报警及故障维修 …… 29
1.5　SINUMERIK 810D power line 系统 ………… 35
1.5.1　SINUMERIK 810D power line 的结构组成 …… 35
1.5.2　SINUMERIK 810D power line 的功能连接 …… 40
1.5.3　SINUMERIK 810D power line 系统报警及故障维修 …… 49
1.6　SINUMERIK 828D 系统 ………… 58
1.6.1　SINUMERIK 828D 的结构组成 …… 60
1.6.2　SINUMERIK 828D 的功能连接 …… 63
1.6.3　SINUMERIK 828D 系统报警及故障维修 …… 75
1.7　SINUMERIK 840D power line 系统 ………… 79
1.7.1　SINUMERIK 840D power line 的结构组成 …… 80
1.7.2　SINUMERIK 840D power line 的功能连接 …… 87
1.7.3　SINUMERIK 840D power line 系统报警及故障维修 …… 96
1.8　SINUMERIK 840D solution line 系统 … 104
1.8.1　SINUMERIK 840D solution line 的结构组成 …… 104
1.8.2　SINUMERIK 840D solution line 的功能连接 …… 110
1.8.3　SINUMERIK 840D solution line 系统报警及故障维修 …… 113
第 2 章　SIMODRIVE 和 SINAMICS 驱动系统及故障维修 …… 116
2.1　SIMODRIVE 611 驱动系统及故障 …… 117
2.1.1　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统 …… 117
2.1.2　SIMODRIVE 611D 驱动系统……… 138
2.2　SINAMICS 驱动系统及故障 ………… 171
2.2.1　SINAMICS S120 的组成及接口布置 …… 173
2.2.2　SINAMICS S120 在 YKX3132M 型数控滚齿机上的应用 …… 189
2.2.3　SINAMICS S120 的故障诊断及实例分析 …… 205
第 3 章　西门子伺服执行元件及故障维修 …… 214
3.1　主轴电动机及故障 ………… 214
3.1.1　常用主轴电动机的应用连接 …… 215
3.1.2　电动机的工作制及分类 ………… 241
3.1.3　交流异步电动机的工作原理及变频调速 …… 242
3.1.4　主轴电动机过热报警的故障分析 …… 245
3.1.5　交流异步主轴电动机常见故障与排除 …… 250
3.2　进给轴电动机及故障 ………… 252
3.2.1　常用进给轴电动机的应用连接 … 252
3.2.2　永磁同步电动机的工作原理 …… 270
3.2.3　交流永磁同步电动机常见故障与排除 …… 280
3.3　位置检测装置及故障 ………… 285
3.3.1　位置检测装置的分类 ………… 285
3.3.2　位置检测装置的控制原理 ……… 287
3.3.3　电动机内装型编码器的报警及故障维修 …… 297

3.3.4　分离型检测装置（光栅尺）的报警及故障维修 …… 309
第4章　数控机床辅助装置及故障维修 …… 319
4.1　液压系统及故障 …… 319
4.1.1　液压动力元件及故障 …… 323
4.1.2　液压执行元件及故障 …… 344
4.1.3　液压工作介质及故障 …… 358
4.1.4　液压控制元件及故障 …… 362
4.1.5　液压辅助元件及故障 …… 408
4.2　润滑系统及故障 …… 421
4.2.1　润滑系统的分类 …… 422
4.2.2　润滑系统在YKX3132M型数控滚齿机上的应用 …… 425
4.2.3　润滑系统在PF6－S2500数控磨床上的应用 …… 428
4.3　气动系统及故障 …… 432
4.3.1　气动系统的组成及特点 …… 433
4.3.2　常用气动元件及故障 …… 434
4.3.3　气动系统在H400型卧式加工中心上的应用 …… 460
4.3.4　气动系统在Oerlikon－C50型螺旋锥齿轮滚齿机上的应用 …… 465
4.4　冷却装置及故障 …… 471
4.4.1　油基切削液冷却装置在YKX3132M型数控滚齿机上的应用 …… 472
4.4.2　水基切削液冷却装置在PF6－S2500数控磨床上的应用 …… 476
4.5　排屑装置及故障 …… 481
4.5.1　刮板式排屑装置及故障 …… 482
4.5.2　链板式排屑装置及故障 …… 483
4.5.3　磁性排屑装置及故障 …… 485
4.5.4　螺旋式排屑装置及故障 …… 487
4.5.5　车间集中排屑系统及实例应用 …… 489
第5章　数控机床通信及网络控制技术 …… 492
5.1　RS232串行通信技术及应用 …… 492
5.1.1　RS232异步串行通信数据格式及接口信号 …… 492
5.1.2　SINUMERIK系统的存取权限 …… 493
5.1.3　WinPCIN软件使用与数据传输 …… 497
5.1.4　RCS802软件使用与数据传输 …… 504
5.2　MPI通信技术及应用 …… 507
5.2.1　MPI通信简介 …… 507
5.2.2　MPI网络 …… 508
5.2.3　外设计算机的MPI通信 …… 509
5.3　Profibus通信技术及应用 …… 518
5.3.1　Profibus通信简介 …… 518
5.3.2　Profibus－DP网络硬件 …… 521
5.3.3　Profibus－DP网络故障与现场诊断 …… 525
5.4　ProfiNET通信技术及应用 …… 532
5.5　SMS通信技术及应用 …… 534
5.6　存储卡通信技术及应用 …… 535
5.6.1　SINUMERIK系统数据的机内存储 …… 536
5.6.2　SINUMERIK系统数据的存储卡传送 …… 542
第6章　S7－200/300 PLC在SINUMERIK系统中的应用及维护 …… 548
6.1　S7－200/300 PLC概述 …… 548
6.1.1　PLC的功能 …… 548
6.1.2　PLC的组成 …… 550
6.1.3　PLC的工作原理 …… 559
6.1.4　PLC与CNC和MT的关系及信号分类 …… 562
6.2　S7－200/300 PLC的编程语言与指令系统 …… 565
6.2.1　Step7的编程语言 …… 565
6.2.2　基本数据类型 …… 569
6.2.3　位逻辑指令 …… 570
6.2.4　定时器与计数器指令 …… 573
6.2.5　数据处理指令 …… 581
6.2.6　数学运算指令 …… 586
6.2.7　逻辑控制指令 …… 592
6.2.8　程序控制指令 …… 594
6.3　S7－200/300 PLC编程软件的安装与使用 …… 594
6.3.1　编程工具PLC802的安装 …… 594
6.3.2　通过编程工具PLC802上装/下载PLC程序 …… 596
6.3.3　标准工具Step7及附件的安装 …… 603
6.3.4　通过标准工具Step7上装/下载PLC程序 …… 612
6.4　S7－200/300 PLC在SINUMERIK系统中的维护 …… 625
6.4.1　SINUMERIK系统中PLC信号状态的查看 …… 625
6.4.2　通过编程工具PLC802修改PLC程序 …… 629
6.4.3　通过标准工具Step7修改PLC程序 …… 633
附录 …… 636
附录A　缩略符 …… 636
附录B　SIMODRIVE 611U/UE驱动系统报警代码及排除方法 …… 640
参考文献 …… 663

第 章

SINUMERIK系统及故障维修

数控机床控制技术是高度集成了机械制造技术、自动化技术、计算机技术、传感器技术和信息处理技术及光、电、液一体化技术的现代制造技术，它以各类型的数控系统（如日本的 FANUC 和 MITSUBISHI 及德国的 SINUMERIK 等系统）为平台，通过微处理器（CPU）和可编程序控制器（PLC）对机床的运动及其加工过程进行自动控制。目前该技术在制造业的应用已相当普遍，涉及生产过程中的板材下料，部件焊接，零件的车、铣、钻、磨加工及标牌刻打等各个环节。

本章以高度模块化的 SINUMERIK 系列产品（见图 1-1）为例，介绍现代数控系统的组成及特点，使读者掌握 SINUMERIK 系统的功能连接和选型及系统故障的维修技术。

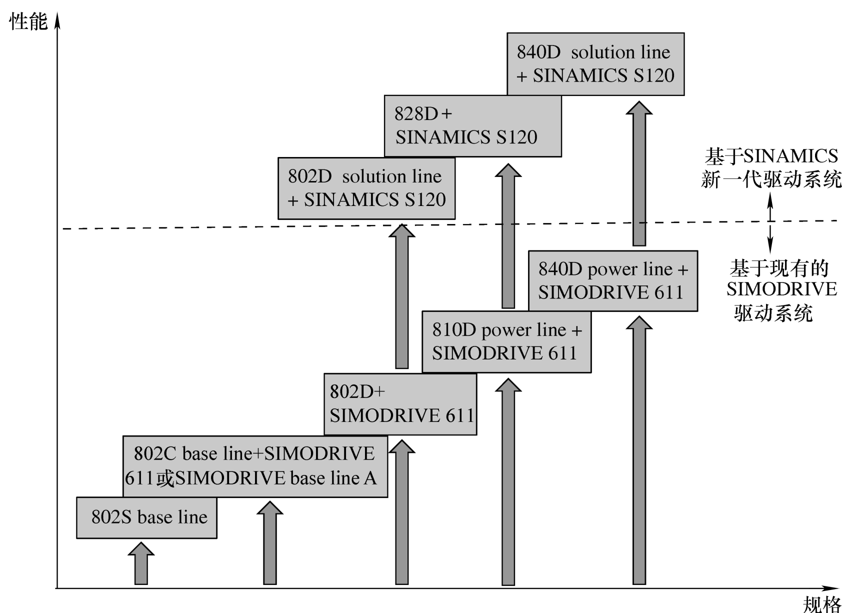


图 1-1　SINUMERIK 系列产品的规格/性能比较

1.1　SINUMERIK 802S base line 系统

SINUMERIK 802S base line 是西门子公司在 SINUMERIK 802S（S 表示步进）基础上开发的一种经济型 CNC 控制系统。它可以控制 2～3 个步进电动机轴和 1 个伺服主轴或变频器，并通过 STEP-DRIVE 驱动器控制步进电动机（控制信号为脉冲信号、方向信号和使能信号）。它还可连接新一代的伺服驱动系统 SINAMICS V60 以控制 1FL5 交流伺服电动机，并可选择配置 SIMATIC S7－200/1200

PLC。另外，SINUMERIK 802S base line 将数控单元、操作面板、机床控制面板和输入输出单元高度集成为一体而被称为 CNC 装置，具有结构紧凑和机床调试配置数据少的特点。

1.1.1 SINUMERIK 802S base line 的结构组成

SINUMERIK 802S base line 系统是由集成式紧凑型的 CNC 装置（硬件）和相应的软件组成，并通过不同的电缆线连接 STEPDRIVE 驱动器和五相混合式步进电动机（见图 1-2），或者连接 SINAMICS V60 驱动系统和 1PL5 伺服电动机（见图 1-3）。

（1）硬件组成　CNC 装置包含 8in⊖液晶显示器（LCD）、全功能操作键盘和机床控制面板（MCP），电缆线包含 CNC 装置与驱动装置的连接电缆及驱动装置与电动机的连接电缆。

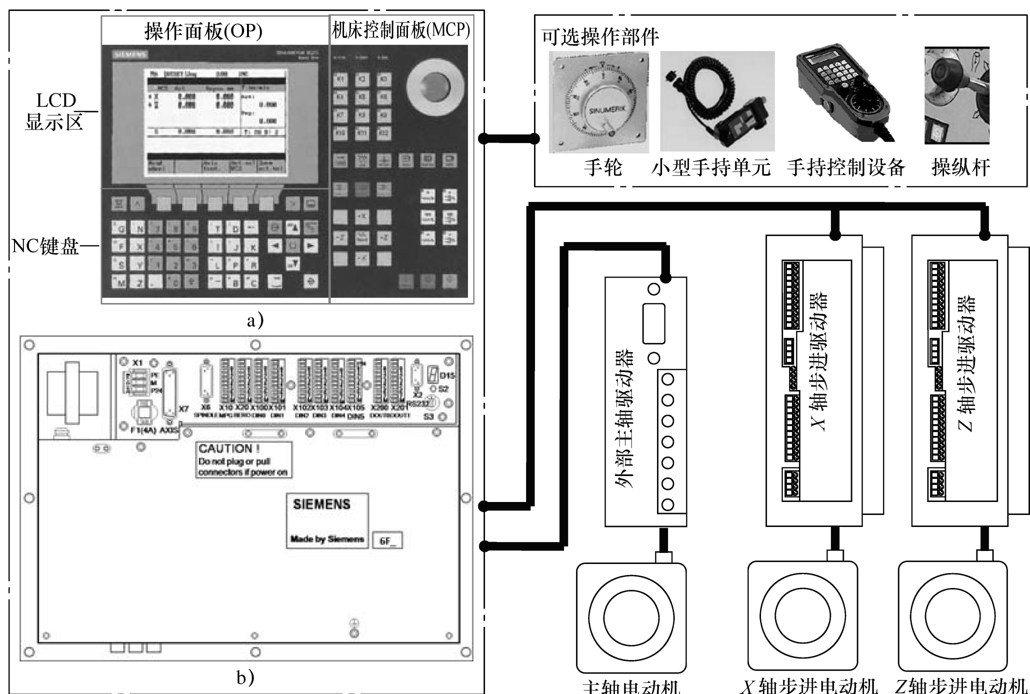


图 1-2　SINUMERIK 802S base line 系统的选型配置一

a）CNC 装置的正面　b）CNC 装置的背面

（2）软件组成　SINUMERIK 802S base line 的软件由位于 CNC 中闪存（FLASH－ROM）上的系统软件、工具盒软盘和更新软盘三部分组成。

1）FLASH－ROM 上的系统软件。

① Boot 引导软件：负责把 FLASH－ROM 内的系统软件装载至用户存储器 DRAM 中并启动系统。

② MMC 软件：负责执行所有的操作功能。

③ NCK 软件：负责控制 1 个 CNC 通道并执行所有的 CNC 功能，1 个 CNC 通道最多可控制 3 个伺服轴和 1 个主轴。

④ PLC 软件：负责循环执行内装 PLC 用户程序。

2）工具盒软盘：包含用于传送用户数据和程序的 WinPCIN 传输软件、文本管理器、用户程序库、机床数据技术文件和编程工具，以及被 WinPCIN 包装后送至 CNC 装置的循环软件等。其中用户数据包括机床数据、设定数据、刀补数据、R 参数、零点偏移、补偿数据、零件程序和标准循环等。

⊖ 1in＝0.0254m。

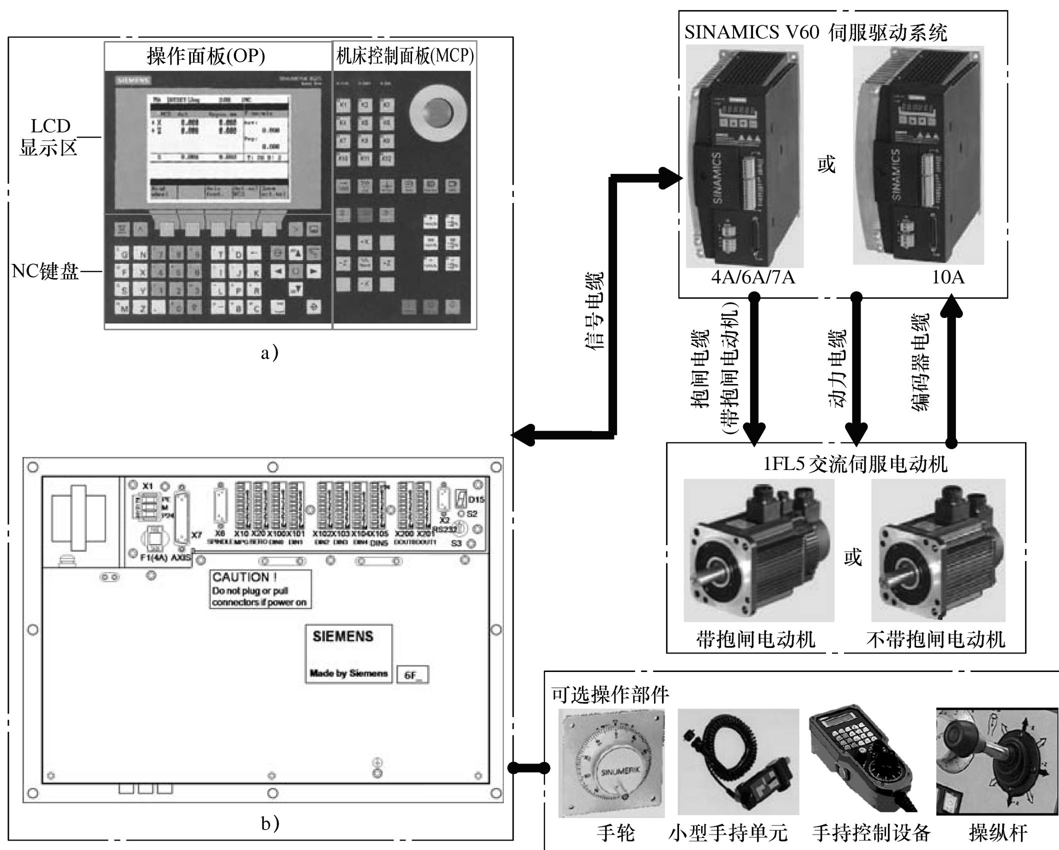


图 1-3　SINUMERIK 802S base line 系统的选型配置二

a）CNC 装置的正面　b）CNC 装置的背面

3）更新软盘：主要是带操作提示的系统更新软件。

1.1.2　SINUMERIK 802S base line 的功能连接

（1）CNC 装置的接口　如图 1-4 所示。

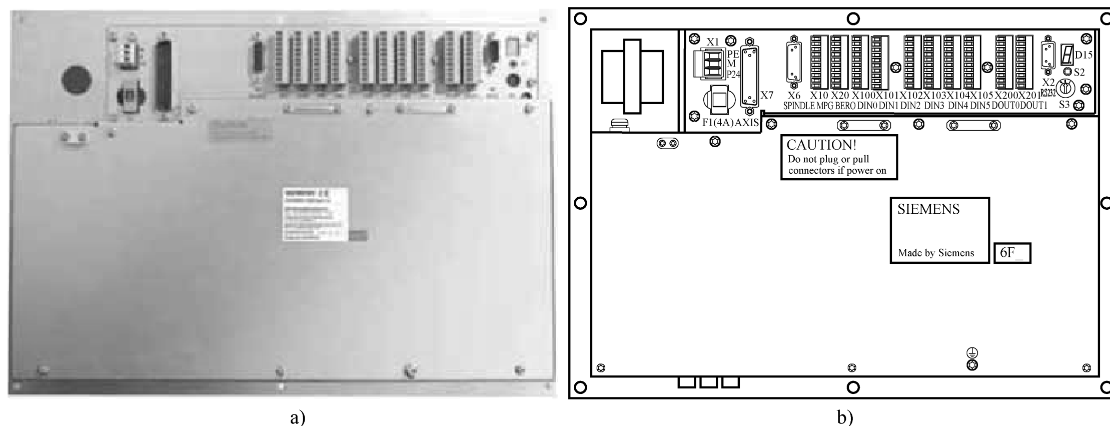


图 1-4　SINUMERIK 802S base line 系统的 CNC 装置接口图（背面）

a）CNC 装置实物　b）CNC 装置接口布置

1）X1：电源接口，通过 3 芯孔式端子排连接 DC +24V 电源。

2）X2：与计算机连接的 RS232 接口（V24），属于 9 芯 D 型针式插座。该接口的 9 个引脚中 Pin2 为 RxD（接收数据），Pin3 为 TxD（传送数据），Pin5 为 M（接地），Pin7 为 RTS（请求发送），Pin8 为 CTS（允许发送），Pin4 和 Pin6 分别为备用输出 DTR（数据终端准备好）和备用输入 DSR（数据装置准备好），Pin1 和 Pin9 空置。

3）X6：主轴测量系统（增量编码器）的 RS422 接口，属于 15 芯 D 型孔式插座。该接口的 15 个引脚中 Pin4 和 Pin6 为 DC +5.2V 输出的 P5_MS，Pin7 和 Pin9 为电源接地 M，Pin10（Z）和 Pin11（Z_N）分别为 5V 的零脉冲基本输入信号 U_{a0} 和取反输入信号 $*U_{a0}$，Pin12（B_N）和 Pin13（B）分别为 B 相取反输入信号 $*U_{a2}$ 和基本输入信号 U_{a2}，Pin14（A_N）和 Pin15（A）分别为 A 相取反输入信号 $*U_{a1}$ 和基本输入信号 U_{a1}，其他引脚空置。A、B 相相位差为 90° ±30°，最大电流消耗 300mA。

4）X7：轴驱动接口，用于连接包括主轴在内最多 4 个模拟驱动的功率模块或 V60 驱动器，属于 50 芯 D 型针式插座，其引脚分配及信号内容见表 1-1。

表 1-1 插座 X7 的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	信号类型	引脚	对应信号	信号内容	信号类型	X7 接口图例
1~3，13~16	n. c.			26	ENABLE3	3 轴使能信号（基本）		34 18 1 50 33 17
4	AGND4	给定的参考电压信号（模拟量）	AO	27	ENABLE3_N	3 轴使能信号（取反）		
5	PULS1	1 轴脉冲信号（基本）	O	28	ENABLE4	3 轴使能信号（基本）		
6	DIR1	1 轴方向信号（基本）	O	29	ENABLE4_N	3 轴使能信号（取反）		
7	PULS2_N	2 轴脉冲信号（取反）	O	30~36 46~49	n. c.			
8	DIR2_N	2 轴方向信号（取反）	O	37	AO4		AO	
9	PULS3	3 轴脉冲信号（基本）	O	38	PULS1_N	1 轴脉冲信号（取反）	O	
10	DIR3	3 轴方向信号（取反）	O	39	DIR1_N	1 轴方向信号（取反）	O	
11	PULS4_N	4 轴脉冲信号（基本）	O	40	PULS2	2 轴脉冲信号（基本）	O	
12	DIR4_N	4 轴方向信号（取反）	O	41	DIR2	2 轴方向信号（基本）	O	
17	SE4. 1	继电器触点控制功率模块的使能信号（模拟量）	K	42	PULS3_N	3 轴脉冲信号（取反）	O	
18	ENABLE1	1 轴使能信号（基本）		43	DIR3_N	3 轴方向信号（取反）	O	
19	ENABLE1_N	1 轴使能信号（取反）		44	PULS4	4 轴脉冲信号（基本）	O	
20	ENABLE2	2 轴使能信号（基本）		45	DIR4	4 轴方向信号（基本）	O	
21	ENABLE2_N	2 轴使能信号（取反）		50	SE4. 2	继电器触点控制功率模块的使能信号（模拟量）	K	
22~25	M	接地	VO					

注：O 为输出信号；AO 为模拟指令值（范围 ±10V），输出一个给定速度；VO 为电压输出信号；K 为开关触点，开关电压≤50V/1A。

5）X10：手摇脉冲发生器 MPG 接口，以 5V 方波（TTL 电平或 RS422）传输信号，最多可连接 2 个 MPG，属于 10 芯针式端子排。该接口的 10 个端子中 Pin1（A1）和 Pin2（A1_N）分别为手轮 1 的 A 相基本输入信号 U_{a1} 和取反输入信号 $*U_{a1}$，Pin3（B1）和 Pin4（B1_N）分别为手轮 1 的 B 相基本输入信号 U_{a2} 和取反输入信号 $*U_{a2}$，Pin7（A2）和 Pin8（A2_N）分别为手轮 2 的 A 相基本输入信号 U_{a1} 和取反输入信号 $*U_{a1}$，Pin9（B2）和 Pin10（B2_N）分别为手轮 2 的 B 相基本输入信号 U_{a2} 和取反输入信号 $*U_{a2}$，Pin5（P5_MS）为手轮的 DC +5.2V 输出，Pin6 为电源的接地 M。A、B 相相位差为 90°±30°，最大电流消耗 250mA。

6）X20：数字输入 DI 接口，用于连接 NC 准备好继电器和参考点返回开关信号 BERO，属于 10 芯针式端子排。该接口的 10 个端子中 Pin11 和 Pin12 为 NC 准备好开关触点（NC 内部的一个最大 DC50V 的继电器，当 NC 为准备好时该触点断开，反之触点闭合）的 NCRDY1 和 NCRDY2，Pin13（I0）、Pin14（I1）、Pin15（I2）和 Pin16（I3）分别为感应接近开关或非触点传感器的快速数字输入信号 Bero1 ~ Bero4，多用于参考点开关，Pin17（I4）和 Pin18（I5）分别为未定义的快速数字输入信号 MEPU1 和 MEPU2，Pin19 和 Pin20 为数字输入的参考电位 L－。

7）X100 ~ X105：DC24V/48 点数字输入接口，属于 10 芯针式端子排，各接口的引脚分配及输入信号类型见表 1-2。

表 1-2　X100 ~ X105 接口的引脚分配及信号类型

引脚	X100 接口信号	X101 接口信号	X102 接口信号	X103 接口信号	X104 接口信号	X105 接口信号	信号类型	接口图例
1	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.		X100 0 1 2 3 4 5 6 7 M X102～X105接口与之类似
2	DI0	DI8	DI16	DI24	DI32	DI40	DI	
3	DI1	DI9	DI17	DI25	DI33	DI41	DI	
4	DI2	DI10	DI18	DI26	DI34	DI42	DI	
5	DI3	DI11	DI19	DI27	DI35	DI43	DI	
6	DI4	DI12	DI20	DI28	DI36	DI44	DI	
7	DI5	DI13	DI21	DI29	DI37	DI45	DI	
8	DI6	DI14	DI22	DI30	DI38	DI46	DI	
9	DI7	DI15	DI23	DI31	DI39	DI47	DI	
10	M	M	M	M	M	M	VI	

注：VI 为电压输入信号，DI 为 24V 输入信号，DI0 ~ DI47 为 24V 数字输入端。

8）X200 和 X201：DC24V/16 点数字输出接口，属于 10 芯针式端子排。X200 接口的 10 个端子中 Pin2 为数字输出 DO0 或顺时针方向的单极主轴，Pin3 为数字输出 DO1 或逆时针方向的单极主轴，Pin4 ~ Pin9 分别为最大电流 500mA 的数字输出 DO2 ~ DO7，Pin1 和 Pin10 分别为数字输出 DO0 ~ DO7 的供电输入 1P24 和 M。X201 接口的 Pin2 ~ Pin9 分别为最大电流 500mA 的数字输出 DO8 ~ DO15，Pin1 和 Pin10 分别为数字输出 DO8 ~ DO15 的供电输入 2P24 和 M。

9）其他操作部件：S2 为系统总清开关（热启动），7 段 LED 显示当前系统的工作状态（D15）。F1 为 4A 的熔丝。S3 为系统启动方式的选择开关，用螺钉旋具调节开关的位置（位置 0 为正常引导，位置 1 为用标准机床数据引导且软件的版本决定用户数据，位置 2 为系统软件升级，位置 3 为用备份数据引导，位置 4 为 PLC 运行停止）。调试开关 S3 的位置在下次通电时生效。

（2）CNC 装置的连接　如图 1-5 所示。

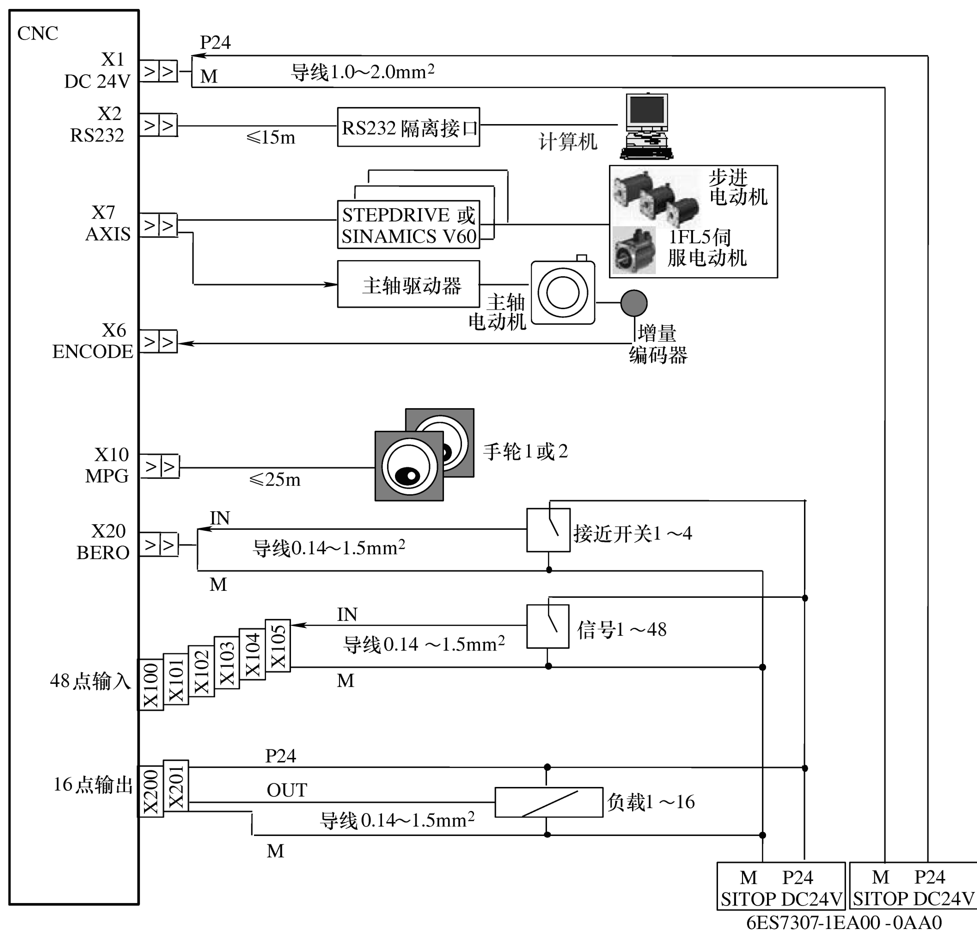


图 1-5 SINUMERIK 802S base line 系统的连接图

1.1.3 SINUMERIK 802S base line 系统报警及故障维修

SINUMERIK 802S base line 系统的 CNC 装置正面面板上有 3 个 LED 指示灯（见图 1-6），用来显示 CNC 装置的工作状态和启动时系统的引导故障。其中，POK 指示灯（绿色）用来显示系统所需的电源供应正常；ERR 指示灯（红色）表明系统出现故障；DIA 指示灯（黄色）用于显示系统不同的诊断状态，正常状态时闪烁频率为 1∶1。

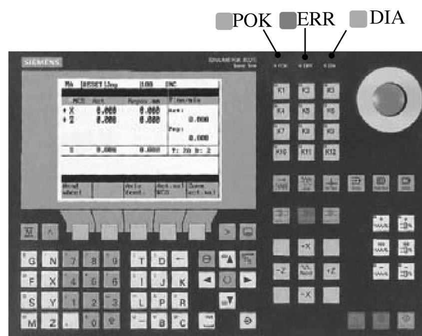


图 1-6 CNC 装置正面面板上的 LED 指示灯

系统上电开机（S3 处于 0 位置）后进入引导阶段并在 LCD 屏幕上显示引导过程。当正确引导后，系统进入 JOG 运行方式下参考点返回状态，此时 CNC 装置正面面板上的 DIA 指示灯闪烁呈黄色。当引导阶段出现故障时，系统停止加载且 CNC 装置正面面板上的 ERR 指示灯闪烁呈红色，DIA 黄色指示灯不闪烁。系统引导阶段的报警信息及排除方法见表 1-3。

表 1-3　系统引导阶段的报警信息及排除方法

序号	报警信息	报警内容	排除方法
1	ERROR EXCEPTION	异常错误	1）CNC 系统断电后再上电 2）更换 DRAM、CPU 等硬件 3）进行软件更新 4）向西门子公司寻求电话支持或现场技术服务
2	ERROR DRAM	动态存储器 DRAM 出错	
3	ERROR BOOT	BOOT 引导区出错	
4	ERROR NO BOOT2	未发现 BOOT2 引导区	
5	ERROR NO SYSTEM	未发现系统文件	
6	ERROR LOAD NC NO SYSTEM LOADER	装载 NC 出错，系统不能装载	
7	ERROR LOAD NC CHECKSUM ERROR	装载 NC 出错，校验和出错	
8	ERROR LOAD NC DECOMPRESS ERROR	装载 NC 出错，解压缩出错	
9	ERROR LOAD NC INTERNAL ERROR1	装载 NC 出错，中断出错	

1.2　SINUMERIK 802C base line 系统

SINUMERIK 802C base line 是西门子公司在 SINUMERIK 802C 基础上，专门为中国数控机床市场开发的一种可连接伺服驱动的经济型集成式 CNC 控制系统。它将数控单元、操作面板、机床控制面板和输入输出单元高度集成为一体（被称为 CNC 装置），不仅可以控制 2 ~ 3 个伺服进给轴，还提供 1 个传统的 ± 10V 模拟量接口以连接主轴驱动；它可通过 SIMODRIVE 611U 或 SIMODRIVE base line 驱动系统控制 1FK7 系列伺服电动机。因其具有结构紧凑和机床调试配置数据少等特点，SINUMERIK 802C base line 适用于小型车床和铣床的控制及机床的改造。

1.2.1　SINUMERIK 802C base line 的结构组成

SINUMERIK 802C base line 系统是由集成式紧凑型的 CNC 装置（硬件）和相应的软件组成，并通过不同的电缆线连接 SIMODRIVE 611U（或 SIMODRIVE base line）伺服驱动系统、1FK7 伺服电动机和 1PH 系列主轴电动机（见图 1-7）。

（1）硬件组成　CNC 装置包含 8in 薄型液晶显示器、防护等级为 IP65 设计的全功能操作面板和机床控制面板及 12 个带有 LED 的用户自定义键，电缆线包含 CNC 装置与驱动装置的连接电缆及驱动装置与伺服电动机的连接电缆。

（2）软件组成　SINUMERIK 802C base line 系统的软件由位于 CNC 中 FLASH - ROM 上的系统软件、工具盒软盘和更新软盘三部分组成。

1）FLASH - ROM 上的系统软件。

① Boot 引导软件：负责把 FLASH - ROM 内的系统软件装载至用户存储器 DRAM 中并启动系统。

② MMC 软件：负责执行所有的操作功能。

③ NCK 软件：负责控制一个 CNC 通道并执行所有的 CNC 功能，一个 CNC 通道最多可控制 3 个伺服轴（脉冲/方向信号）和一个主轴（± 10V）。

④ PLC 软件：负责循环执行内装 PLC 用户程序。另外，SINUMERIK 802C base line 系统已与机床功能相结合，并以 PLC 用户程序实例的形式内装于 PLC 中。

2）工具盒软盘：包含用于传送用户数据和程序的 WinPCIN 传输软件、文本管理器、用户程序库、机床数据技术文件和编程工具，以及被 WinPCIN 包装后送至 CNC 装置的循环软件等。其中用户数据包括机床数据、设定数据、刀补数据、R 参数、零点偏移、补偿数据、零件程序和标

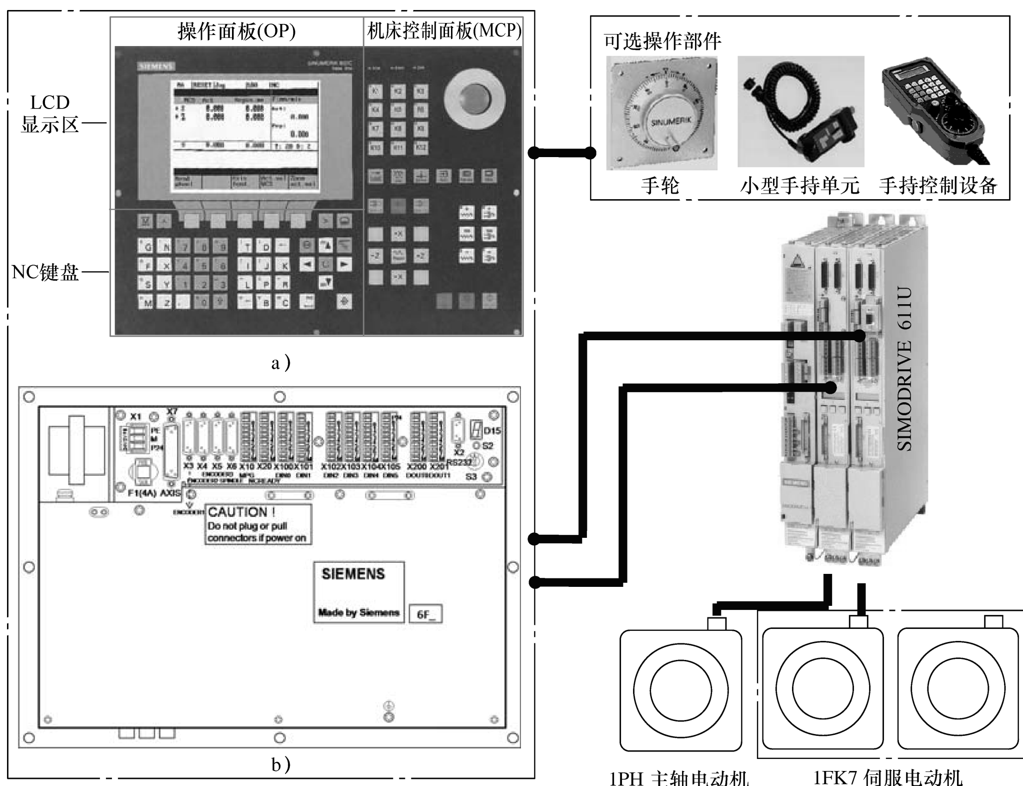


图 1-7　SINUMERIK 802C base line 系统的选型配置

a）CNC 装置的正面　b）CNC 装置的背面

准循环等。

3）更新软盘：主要是带操作提示的系统更新软件，使用更新程序可将压缩的 SINUMERIK 802C base line 系统软件装入 CNC 装置中。

1.2.2　SINUMERIK 802C base line 的功能连接

（1）CNC 装置的接口　如图 1-8 所示。

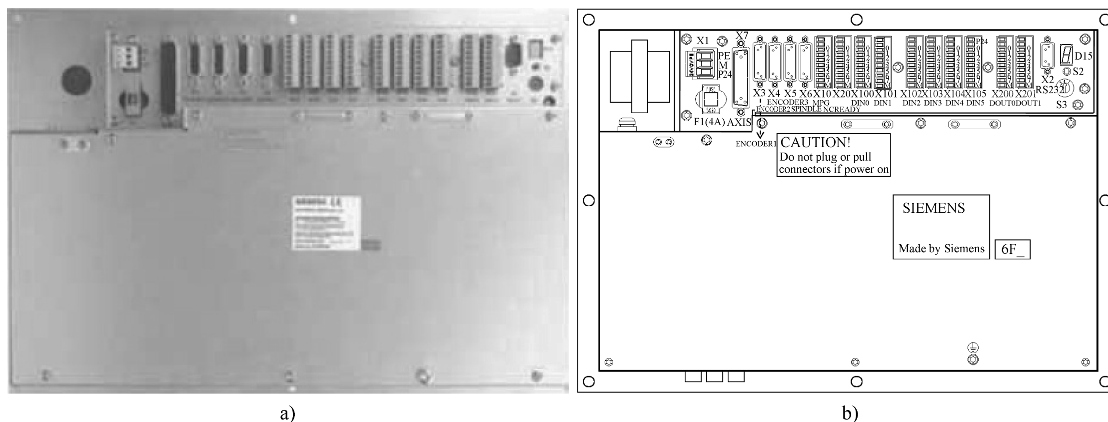


图 1-8　SINUMERIK 802C base line 系统的 CNC 装置接口图（背面）

a）CNC 装置实物　b）CNC 装置接口布置

1）X1：电源接口，通过 3 芯孔式端子排连接 DC +24V 电源（最小值 20.4V，最大值 28.8V，最大启动电流 4A）。

2）X2：与计算机连接的 RS232 接口（V24），属于 9 芯 D 型针式插座。该接口的 9 个引脚中 Pin2 为 RxD，Pin3 为 TxD，Pin5 为 M，Pin7 为 RTS，Pin8 为 CTS，Pin4 和 Pin6 分别为备用输出 DTR 和备用输入 DSR，Pin1 和 Pin9 空置。

3）X3 ~ X6：进给轴和主轴测量系统（5V 增量编码器）的 RS422 接口，属于 15 芯 D 型孔式插座。接口 X3 ~ X6 的 15 个引脚中 Pin4 和 Pin6 为 DC +5.2V 输出的 P5_MS，Pin7 和 Pin9 为电源接地 M，Pin10（Z）和 Pin11（Z_N）分别为 5V 的零脉冲基本输入信号 U_{a0} 和取反输入信号 $*U_{a0}$，Pin12（B_N）和 Pin13（B）分别为 B 相取反输入信号 $*U_{a2}$ 和基本输入信号 U_{a2}，Pin14（A_N）和 Pin15（A）分别为 A 相取反输入信号 $*U_{a1}$ 和基本输入信号 U_{a1}，其他引脚空置。A、B 相相位差为 90° ±30°，最大电流消耗 300mA。

4）X7：轴 1 ~4 的驱动接口，属于 50 芯 D 型针式插座，其引脚分配及信号内容见表 1-4。

表 1-4　插座 X7 的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	信号类型	引脚	对应信号	信号内容	信号类型	X7 接口图例
1	AO1	1 轴模拟指令值	AO	22 ~ 25	M	接地	VO	34 18 1 50 33 17
2	AGND2	2 轴模拟大地	AO	34	AGND1	1 轴模拟大地	AO	
3	AO3	3 轴模拟指令值	AO	35	AO2	2 轴模拟指令值	AO	
4	AGND4	4 轴模拟大地	AO	36	AGND3	3 轴模拟大地	AO	
引脚 5 ~ 13，18 ~ 21，26 ~ 33，38 ~ 46，均空置				37	AO4	4 轴模拟指令值	AO	
14	SE1.1	1 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	47	SE1.2	1 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	
15	SE2.1	2 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	48	SE2.2	2 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	
16	SE3.1	3 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	49	SE3.2	3 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	
17	SE4.1	4 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	50	SE4.2	4 轴伺服使能触点（继电器触点）	K	

注：AO*n* 为模拟指令值（范围 ±10V，*n* =1 ~4），输出一个给定速度；VO 为输出信号；K 为开关触点，开关电压≤50V/1A。

5）X10：手摇脉冲发生器 MPG 接口，以 5V 方波（TTL 电平或 RS422）传输信号，最多可连接 2 个 MPG，属于 10 芯针式端子排。该接口的 10 个端子中 Pin1（A1）和 Pin2（A1_N）分别为手轮 1 的 A 相基本输入信号 U_{a1} 和取反输入信号 $*U_{a1}$，Pin3（B1）和 Pin4（B1_N）分别为手轮 1 的 B 相基本输入信号 U_{a2} 和取反输入信号 $*U_{a2}$，Pin7（A2）和 Pin8（A2_N）分别为手轮 2 的 A 相基本输入信号 U_{a1} 和取反输入信号 $*U_{a1}$，Pin9（B2）和 Pin10（B2_N）分别为手轮 2 的 B 相基本输入信号 U_{a2} 和取反输入信号 $*U_{a2}$，Pin5（P5_MS）为手轮的 DC +5.2V 输出，Pin6 为电源的接地 M。A、B 相相位差为 90° ±30°，最大电流消耗 250mA。

6）X20：数字输入 DI 接口，用于连接 NC 准备好继电器和参考点返回开关信号 BERO，属于 10 芯针式端子排。该接口的 10 个端子中 Pin11 和 Pin12 为 NC 准备好开关触点（NC 内部的一个最大 DC50V 的继电器，当 NC 为准备好时该触点断开，反之触点闭合）的 NCRDY1 和 NCRDY2，

Pin13（I0）、Pin14（I1）、Pin15（I2）和 Pin16（I3）分别为感应接近开关或非触点传感器的快速数字输入信号 Bero1 ~ Bero4，多用于参考点开关，Pin17（I4）和 Pin18（I5）分别为未定义的快速数字输入信号 MEPU1 和 MEPU2，Pin19 和 Pin20 为数字输入的参考电位 L-。

7）X100 ~ X105：DC24V/48 点数字输入接口，属于 10 芯针式端子排。各接口的引脚分配及输入信号类型见表 1-5。

表 1-5 X100 ~ X105 接口的引脚分配及信号类型

引脚	X100 接口信号	X101 接口信号	X102 接口信号	X103 接口信号	X104 接口信号	X105 接口信号	信号类型	接口图例
1	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.	n. c.		X100 0 1 2 3 4 5 6 7 M X102～X105接口与之类似
2	DI0	DI8	DI16	DI24	DI32	DI40	DI	
3	DI1	DI9	DI17	DI25	DI33	DI41	DI	
4	DI2	DI10	DI18	DI26	DI34	DI42	DI	
5	DI3	DI11	DI19	DI27	DI35	DI43	DI	
6	DI4	DI12	DI20	DI28	DI36	DI44	DI	
7	DI5	DI13	DI21	DI29	DI37	DI45	DI	
8	DI6	DI14	DI22	DI30	DI38	DI46	DI	
9	DI7	DI15	DI23	DI31	DI39	DI47	DI	
10	M	M	M	M	M	M	VI	

注：VI 为电压输入信号，DI 为 24V 输入信号，DI0 ~ DI47 为 24V 数字输入端。

8）X200、X201：DC24V/16 点数字输出接口，属于 10 芯针式端子排。X200 接口的 10 个端子中 Pin2 为数字输出 DO0 或顺时针方向的单极主轴，Pin3 为数字输出 DO1 或逆时针方向的单极主轴，Pin4 ~ Pin9 分别为最大电流 500mA 的数字输出 DO2 ~ DO7，Pin1 和 Pin10 分别为数字输出 DO0 ~ DO7 的供电输入 1P24 和 M。X201 接口的 Pin2 ~ Pin9 分别为最大电流 500mA 的数字输出 DO8 ~ DO15，Pin1 和 Pin10 分别为数字输出 DO8 ~ DO15 的供电输入 2P24 和 M。

9）其他操作部件：S2 为系统总清开关（热启动），7 段 LED 显示当前系统的工作状态（D15），F1 为 4A 的熔丝。S3 为系统启动方式的选择开关，可用螺钉旋具调节开关的位置（位置 0 为正常引导，位置 1 为用标准机床数据引导且软件的版本决定用户数据，位置 2 为系统软件升级，位置 3 为用备份数据引导，位置 4 为 PLC 运行停止）。调试开关 S3 的位置在下次通电时生效。

（2）CNC 装置的连接　如图 1-9 所示。

1.2.3 SINUMERIK 802C base line 系统报警及故障维修

SINUMERIK 802C base line 的 CNC 装置正面面板上有 3 个 LED 指示灯（见图 1-10），用来显示 CNC 装置的工作状态和启动时系统的引导故障。其中，POK 指示灯（绿色）用来显示系统所需的电源供应正常，ERR 指示灯（红色）表明系统出现故障，DIA 指示灯（黄色）用于显示系统不同的诊断状态，正常状态时闪烁频率为 1:1。

系统上电开机（S3 处于 0 位置）后进入引导阶段，并在 LCD 屏幕上显示引导过程。当正确引导后，系统进入 JOG 运行方式下参考点返回状态，此时 CNC 装置正面面板上的 DIA 指示灯闪烁呈黄色。当引导阶段出现故障时，系统停止加载且 CNC 装置正面面板上的 ERR 指示灯闪烁呈红色，DIA 黄色指示灯不闪烁。系统引导阶段的报警信息及排除方法与前面介绍的 SINUMERIK 802S base line 系统的相同（见表 1-3）。

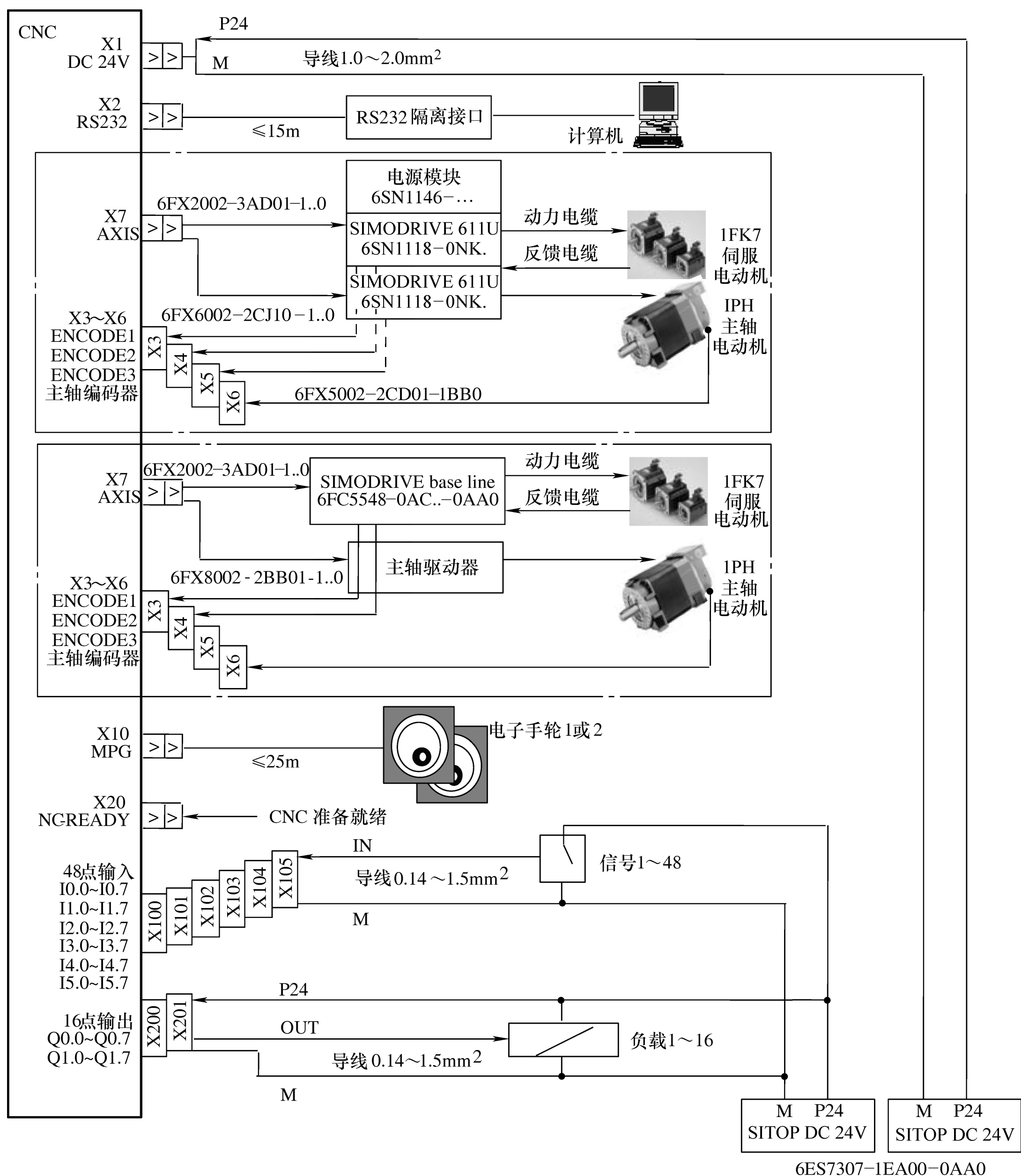


图 1-9　SINUMERIK 802C base line 系统的连接图

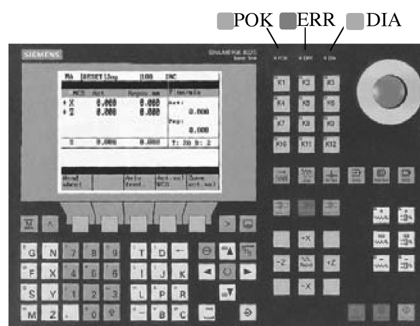


图 1-10　CNC 装置正面面板上的 LED 指示灯

1.3 SINUMERIK 802D 系统

SINUMERIK 802D 系统将 NCK、PLC、HMI 和通信等功能集成于一体，并通过 Profibus 现场总线连接模块化的 SIMODRIVE 611UE 伺服驱动装置和 I/O 模块。该系统采用了 10.4in TFT 显示器（彩色为选择项），具有编程模拟和图形仿真功能；最多可控制 4 个数字进给轴（SINUMERIK 802D base line 可控制 2 个进给轴，常应用于数控车床）和一个数字或模拟主轴，具有直线插补、平面圆弧插补、螺旋线插补和空间圆弧插补等控制方式；采用 Micro/WIN 编程工具 PLC802V3.0 进行内置 PLC 装置逻辑程序的设计，具有主轴换挡、刀架控制、冷却控制及润滑控制等机床控制功能。

1.3.1 SINUMERIK 802D 的结构组成

（1）SINUMERIK 802D 系统的硬件　包括数控装置、伺服驱动装置和伺服电缆三部分，如图 1-11 所示。

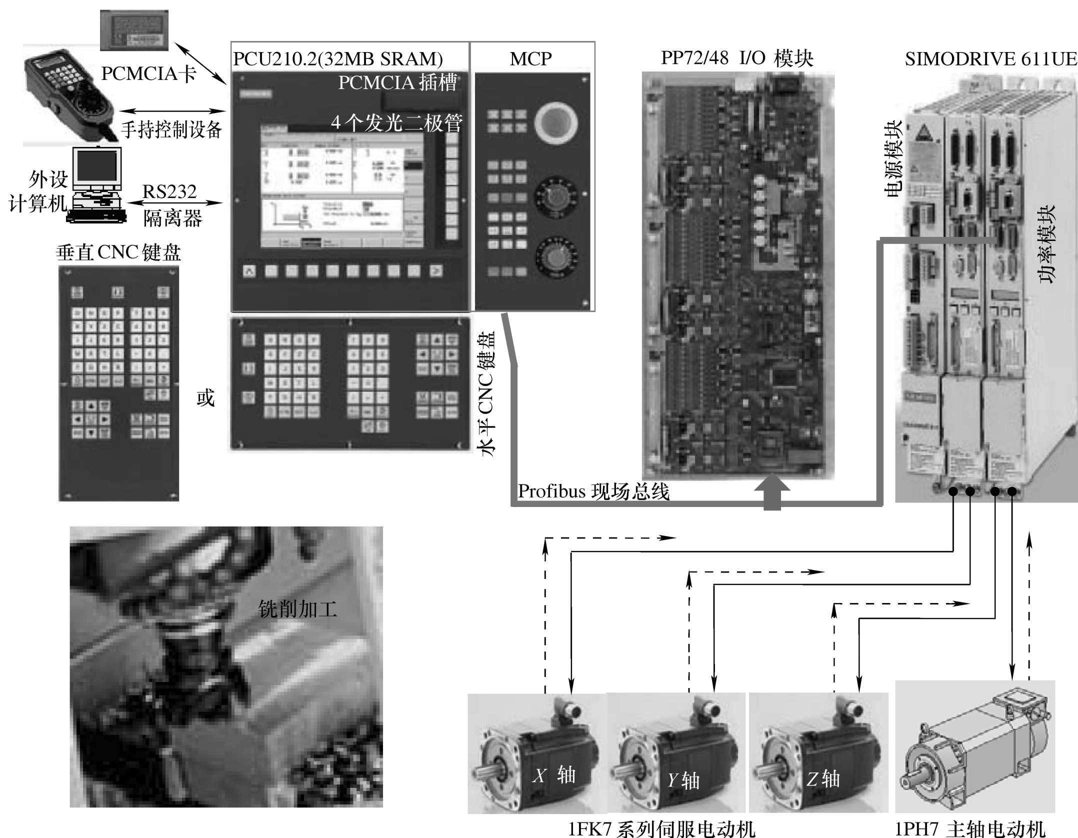


图 1-11　SINUMERIK 802D 系统的硬件组成（铣床系列）

1）数控装置：不仅包含集成于操作面板上的 PCU、机床控制面板（MCP）、水平安装式或垂直安装式 CNC 键盘和数字量输入输出模块 PP72/78（可选配第 2 块），还包含用于批量生产的 8MB PCMCIA 存储卡（可选件）和连接外设调试计算机的 RS232 隔离器（可选件）。

2）伺服驱动装置：不仅包含 SIMODRIVE 611UE 伺服驱动插件（数量与机床配置有关，最

多可选配 4 块)、开环式 6SN1145/6SN1146 或再生馈入式 6SN1145 电源模块、单轴和双轴功率模块、1FK7 伺服电动机和 1PH7 主轴电动机，还包含 Profibus 现场总线选件模块（与 611UE 插件数量相同）和总线插头，用于开环式电源模块控制主轴制动的脉冲电阻模块（可选件)，用于防止驱动装置对电网产生干扰的滤波器（可选件，开环式电源模块和再生馈入式电源模块的订货号分别为 6SN1111－0AA01－1A0 和 6SN1111－0AA01－2A0)，以及用于不同宽度功率模块的屏蔽连接架（如宽度为 50mm、100mm 或 150mm）等。

3）伺服电缆（见图 1-12)：包括 PCU 连接功率模块的 Profibus 现场总线电缆，功率模块到电动机的动力电缆［注意：电缆 U、V、W 必须与动力模块插头的 U、V、W 对应，绝不能接错；功率模块上的 A1（对应 X411）与 A2（对应 X412）不能接反］和电动机到伺服模块 611UE 的信号反馈电缆，以及输入输出模块 PP72/48 到机床控制面板 MCP 或到端子转换器的扁平电缆（非西门子提供)。

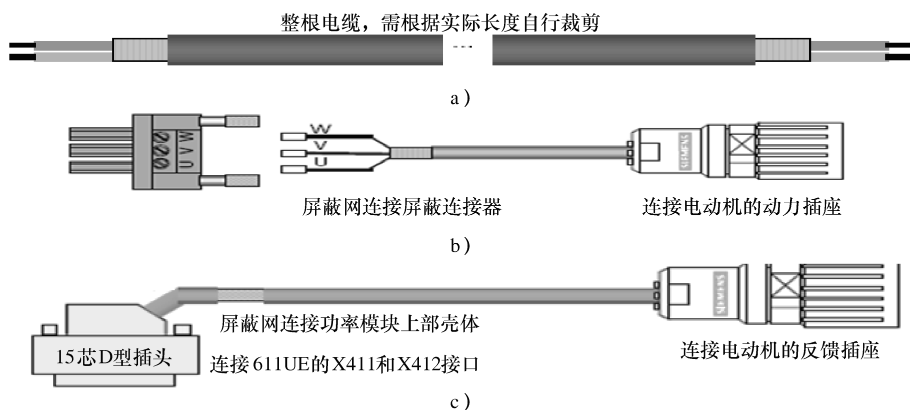


图 1-12 SINUMERIK 802D 的伺服电缆

a）Profibus 现场总线电缆 b）功率模块到电动机的动力电缆 c）电动机到伺服模块 611UE 的信号反馈电缆

（2）软件组成 SINUMERIK 802D 的软件由 CNC 中 FLASH－ROM 上的系统软件和随机工具盒软件（与系统软件相匹配）组成。

1）FLASH－ROM 上的系统软件。

① Boot 引导软件：负责把 FLASH－ROM 内的系统软件装载至用户存储器 DRAM 中并启动系统。

② MMC 软件：负责执行所有的操作功能。

③ NCK 软件：执行所有的 CNC 功能。

④ PLC 软件：负责循环执行内装 PLC 用户程序。

2）随机工具盒软件（订货号 6FC5650－0EA00－0AG0 的 CD 盘)：包含用于传送用户数据和程序的 WinPCIN 传输软件，用于创建 PLC 用户程序的编程软件 Programming Tool PLC802，用于编写和安装 PLC 报警文本的文本管理器，用于简化 PLC 应用程序设计的 PLC 子程序库，及 SIMODRIVE 611UE 调试软件 SimoComU 等。

1.3.2 SINUMERIK 802D 的功能连接

（1）PCU 面板的接口 如图 1-13 所示。

1）X8：电源接口，通过 3 芯端子式插座连接 DC＋24V 电源（最小值 20.4V，最大值 28.8V，最大启动电流 2.6A)。

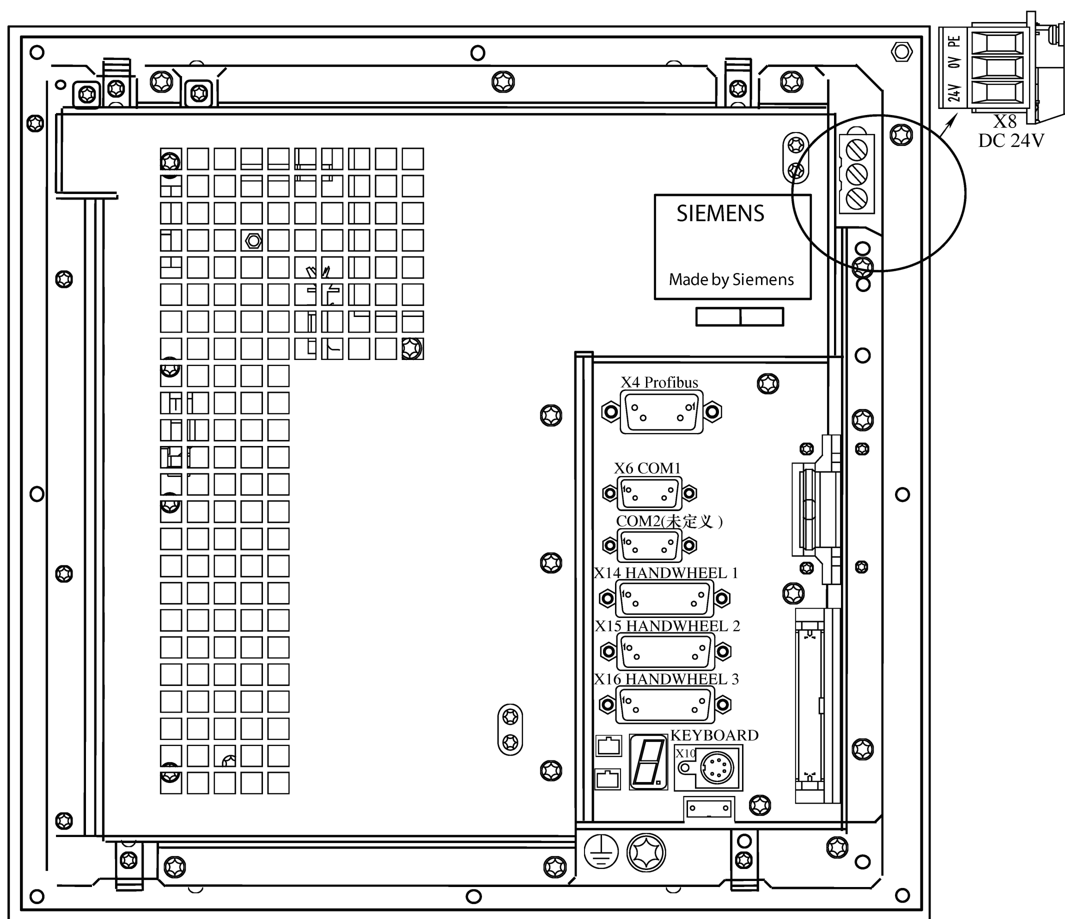


图 1-13 SINUMERIK 802D 系统的 PCU 面板接口图（背面）

2）X4：Profibus 接口，属于 9 芯针式 D 型插座。由于 SINUMERIK 802D 是基于 Profibus 总线的数控系统，其输入输出信号和位置调节（速度给定和位置反馈信号）均是通过 Profibus 完成的，故 Profibus 的正确连接非常重要。连接时，PCU 是 Profibus 的主设备，每个 Profibus 从设备（如 PP72/48、611UE）均有自己的总线地址并可按任意顺序进行排列，但总线地址不能有冲突；同时 PP72/48 的总线地址由模块上的地址开关 S1 设定（第 1、2 块 PP72/48 的总线地址分别设定为 9 和 8），611UE 的总线地址既可利用 SimoComU 软件进行设定，也可由 611UE 上的输入键进行设定。通常，可按图 1-14 所示进行 Profibus 现场总线的连接（Profibus 两个终端设备的终端电阻开关拨至 ON 位置）。

3）X6：COM1 接口（RS232），属于 9 芯针式 D 型插头，通过该接口和 RS232 通信电缆（又称数控系统调试电缆，见图 1-15）可连接一台外设 PG/PC，从而经由编程软件 Programming Tool PLC802、通信软件 WinPCIN 和文本管理器 Text Manager 实现外设 PG/PC 与 802D PCU 之间的数据交换。应注意：COM2 无定义；X6 COM1 接口严禁带电插拔以防烧口，连接时 SINUMERIK 802D 系统与 PG/PC 须同时断电。

4）X14、X15 和 X16：第 1、2、3 手轮的接口，属于 15 芯孔式 D 型插座。X1n（n＝4，5，6）接口的 15 个引脚中 Pin1 和 Pin9 为手轮的 5V 电源，Pin2 和 Pin11 为手轮的信号地 1M，Pin3 和 Pin4 分别为手轮的 A 相基本脉冲输入信号 A_HWx 和取反脉冲输入信号 ＊A_HWx，Pin6 和 Pin7 分别为手轮的 B 相基本脉冲输入信号 B_HWx 和取反脉冲输入信号 ＊B_HWx，其他引脚空置。

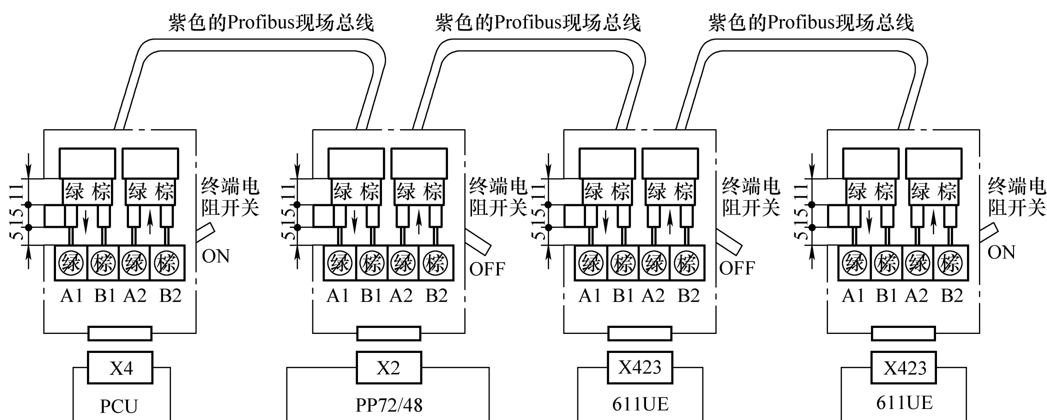


图 1-14　Profibus 现场总线的连接

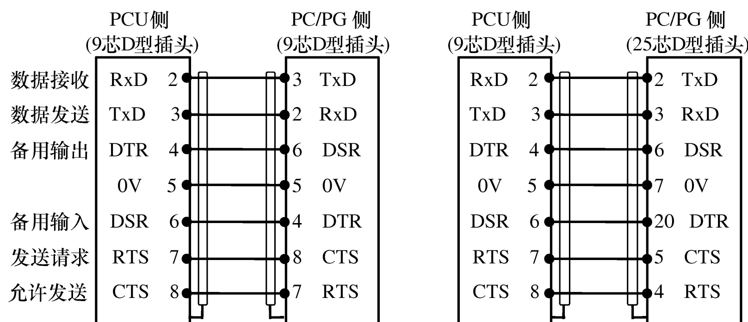


图 1-15　RS232 通信电缆连接图

注：与 SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统的调试电缆（RS232）不同。

5）X10：CNC 全键盘接口，属于 6 芯 PS/2 插口。

6）打开 PCU 面板（正面）右上角的挡板，内有 4 个发光二极管和 1 个 PCMCIA 插槽（见图 1-16），其中绿色 ON 为电源指示灯，黄色 NC 为系统生命标记监控（闪烁），红色 WD 为过程监控，黄色 PB 为 Profibus 总线状态灯。PCMCIA 插槽中应使用 8MB 的 PCMCIA 存储卡（6FC5650－0DA00－0AH0），以备份 802D 的试车数据、PLC 应用程序（含报警文本）及显示机床数据等，其中试车数据中包括所有零件程序文件和所有固定循环文件及机器数据、设定数据、刀具数据、R 参数、PLC 应用程序、用户报警文本、定义轴的驱动器数据、零点偏移、丝杠误差补偿等内容。

（2）输入输出模块 PP72/48 的接口及其与 MCP 的连接　输入输出模块 PP72/48 的接口如图 1-17 所示。

1）输入输出模块 PP72/48 可提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端。SINUMERIK 802D 系统最多可配置 2 块 PP72/48 模块。每个 PP 模块上有 3 个独立的 50 芯插槽 X111、X222 和 X333（扁平电缆插头），每个插槽内有 24 位数字量输入和 16 位数字量输出（输出驱动能力为 0.25A，同时系数为 1）。

2）输入信号的公共端可由 PP72/48 模块任意接口的第 2 脚供电，也可由 X1 接口（已标明 24V、0V 和 PE 的 3 芯端子式插头）引入 DC24V 电源，连接时 24V 电源的 0V 端子接 PP72/48 每个接口的第 1 脚。

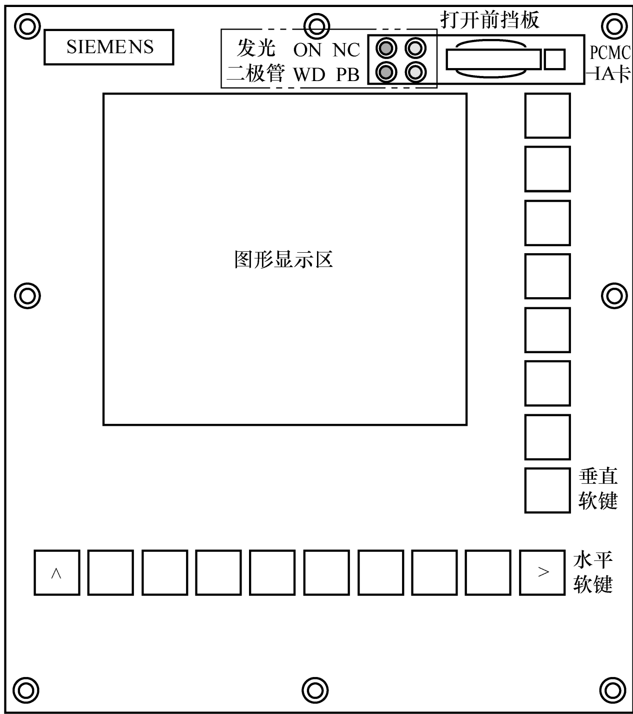


图 1-16 PCU 面板的正面图

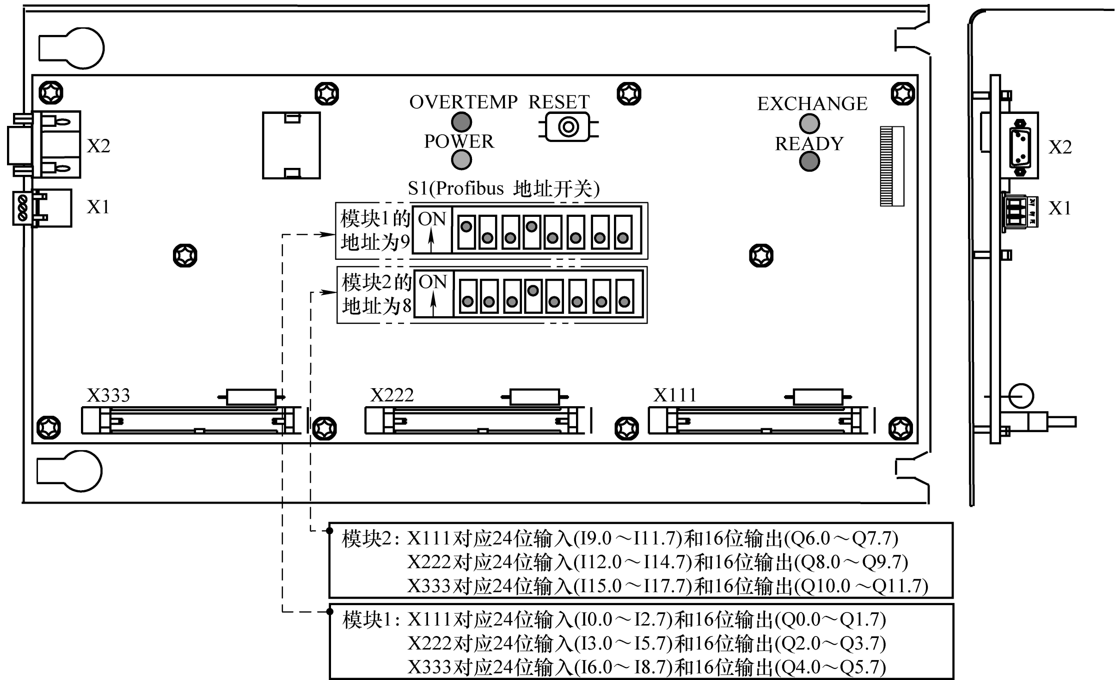


图 1-17 输入输出模块 PP72/48 的接口图

3）输出信号的驱动电流由 PP72/48 各接口的公共端（即 X111/X222/X333 的端子 47/48/49/50）提供，输出公共端既可使用系统提供的 DC24V，也可使用独立的电源（该电源的 0V 与系统 24V 电源的 0V 连接）。

4）PP72/48 上的 4 个发光二极管：绿色 POWER 为电源指示灯，红色 READY 表明 PP72/48 模块就绪但无数据交换，绿色 EXCHANGE 表明 PP72/48 模块就绪且进行 Profibus 数据交换，红色 OVERTEMP 为模块超温指示灯。

5）PP72/48 模块输入输出信号的逻辑地址与接口端子号的对应关系见表 1-6。

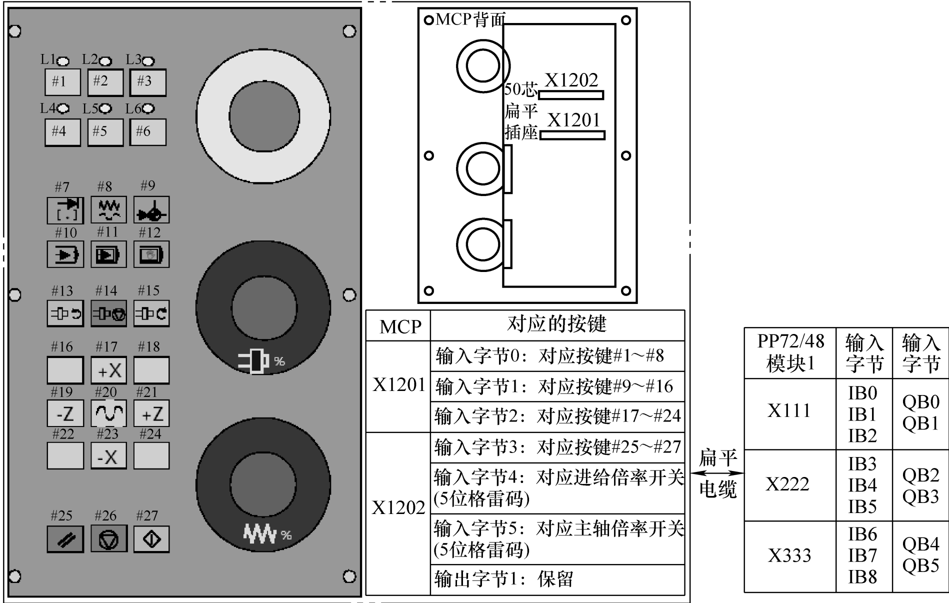
表 1-6　PP72/48 模块输入输出信号的逻辑地址与接口端子号的对应关系

PP72/48 模块 1								PP72/48 模块 2							
端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333
1	0V（DICOM）			24	I2.5	I5.5	I8.5	1	0V（DICOM）			24	I11.5	I14.5	I17.5
2	DC24V 输出 *			25	I2.6	I5.6	I8.6	2	DC24V 输出 *			25	I11.6	I14.6	I17.6
3	I0.0	I3.0	I6.0	26	I2.7	I5.7	I8.7	3	I9.0	I12.0	I15.0	26	I11.7	I14.7	I17.7
4	I0.1	I3.1	I6.1	27,29	无定义			4	I9.1	I12.1	I15.1	27,29	无定义		
5	I0.2	I3.2	I6.2	28,30	无定义			5	I9.2	I12.2	I15.2	28,30	无定义		
6	I0.3	I3.3	I6.3	31	Q0.0	Q2.0	Q4.0	6	I9.2	I12.3	I15.3	31	Q6.0	Q8.0	Q10.0
7	I0.4	I3.4	I6.4	32	Q0.1	Q2.1	Q4.1	7	I9.4	I12.4	I15.4	32	Q6.1	Q8.1	Q10.1
8	I0.5	I3.5	I6.5	33	Q0.2	Q2.2	Q4.2	8	I9.5	I12.5	I15.5	33	Q6.2	Q8.2	Q10.2
9	I0.6	I3.6	I6.6	34	Q0.3	Q2.3	Q4.3	9	I9.6	I12.6	I15.6	34	Q6.3	Q8.3	Q10.3
10	I0.7	I3.7	I6.7	35	Q0.4	Q2.4	Q4.4	10	I9.7	I12.7	I15.7	35	Q6.4	Q8.4	Q10.4
11	I1.0	I4.0	I7.0	36	Q0.5	Q2.5	Q4.5	11	I10.0	I13.0	I16.0	36	Q6.5	Q8.5	Q10.5
12	I1.2	I4.1	I7.1	37	Q0.6	Q2.6	Q4.6	12	I10.1	I13.1	I16.1	37	Q6.6	Q8.6	Q10.6
13	I1.2	I4.2	I7.2	38	Q0.7	Q2.7	Q4.7	13	I10.2	I13.2	I16.2	38	Q6.7	Q8.7	Q10.7
14	I1.3	I4.3	I7.3	39	Q1.0	Q3.0	Q5.0	14	I10.3	I13.3	I16.3	39	Q7.0	Q9.0	Q11.0
15	I1.4	I4.4	I7.4	40	Q1.1	Q3.1	Q5.1	15	I10.4	I13.4	I16.4	40	Q7.1	Q9.1	Q11.1
16	I1.5	I4.5	I7.5	41	Q1.2	Q3.2	Q5.2	16	I10.5	I13.5	I16.5	41	Q7.2	Q9.2	Q11.2
17	I1.6	I4.6	I7.6	42	Q1.3	Q3.3	Q5.3	17	I10.6	I13.6	I16.6	42	Q7.3	Q9.3	Q11.3
18	I1.7	I4.7	I7.7	43	Q1.4	Q3.4	Q5.4	18	I10.7	I13.7	I16.7	43	Q7.4	Q9.4	Q11.4
19	I2.0	I5.0	I8.0	44	Q1.5	Q3.5	Q5.5	19	I11.0	I14.0	I17.0	44	Q7.5	Q9.5	Q11.5
20	I2.1	I5.1	I8.1	45	Q1.6	Q3.6	Q5.6	20	I11.1	I14.1	I17.1	45	Q7.6	Q9.6	Q11.6
21	I2.2	I5.2	I8.2	46	Q1.7	Q3.7	Q5.7	21	I11.2	I14.2	I17.2	46	Q7.7	Q9.7	Q11.7
22	I2.3	I5.3	I8.3	47，49	DOCOM * *			22	I11.3	I14.3	I17.3	47,49	DOCOM * *		
23	I2.4	I5.4	I8.4	48，50	DOCOM * *			23	I11.4	I14.4	I17.4	48,50	DOCOM * *		

注：* 表示可作为输入信号的公共端，* * 表示数字输出公共端，连接 DC 24V。

6）SINUMERIK 802D 系统可选择配置标准的机床控制面板，该面板上的所有按键输入信号和指示灯信号通过 MCP 背面的 X1201 和 X1202 接口（50 芯扁平电缆插座），经由扁平电缆与 PP72/48 模块 1（Profibus 总线地址为 9）上 X111/X222/X333 中的任意两个插座相连接，如图 1-18所示。

（3）SINUMERIK 802D 系统的连接　如图 1-19 所示。



MCP	对应的按键
X1201	输入字节0：对应按键#1～#8
	输入字节1：对应按键#9～#16
	输入字节2：对应按键#17～#24
X1202	输入字节3：对应按键#25～#27
	输入字节4：对应进给倍率开关(5位格雷码)
	输入字节5：对应主轴倍率开关(5位格雷码)
	输出字节1：保留

PP72/48 模块1	输入字节	输入字节
X111	IB0 IB1 IB2	QB0 QB1
X222	IB3 IB4 IB5	QB2 QB3
X333	IB6 IB7 IB8	QB4 QB5

图 1-18　机床控制面板与 PP72/48 模块 1 的连接

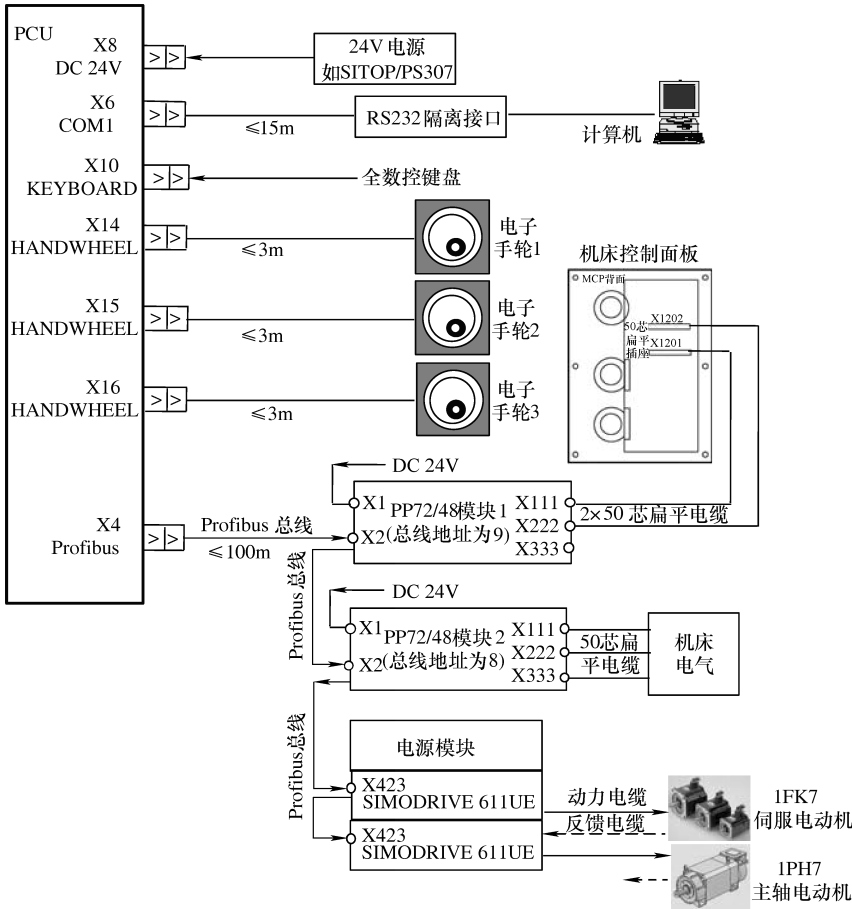


图 1-19　SINUMERIK 802D 系统的连接图

1.3.3　SINUMERIK 802D 系统报警及故障维修

1）自诊断报警的分类：SINUMERIK 802D 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、Profibus 报警、PLC 报警和 HMI 报警四大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（见表 1-7）。

表 1-7　SINUMERIK 802D 系统自诊断报警的分类

序号	报警分类		报警号范围	序号	报警分类		报警号范围
1	NC 报警	一般报警	000 000 ~ 009 999	4	HMI 报警	HMI 主系统	100 000 ~ 100 999
		通道报警	010 000 ~ 019 999			诊断	101 000 ~ 101 999
		坐标轴/主轴报警	020 000 ~ 029 999			维修	102 000 ~ 102 999
		功能报警	030 000 ~ 099 999			机床	103 000 ~ 103 999
		SIEMENS 循环报警	060 000 ~ 064 999			参数	104 000 ~ 104 999
		用户循环报警	065 000 ~ 069 999			编程	105 000 ~ 105 999
2	Profibus 报警		380 001 ~ 380 500			存储	106 000 ~ 106 999
3	PLC 报警	一般报警	400 000 ~ 499 999			OEM	107 000 ~ 107 999
		用户范围	700 000 ~ 799 999			保留	110 000 ~ 110 999 120 000 ~ 120 999

2）系统报警：报警#1002、#1003、#1004、#1005、#1010、#1011、#1012、#1014、#1015、#1016、#1017 和#1018 及#1019 属于 NC 报警中的系统报警（见表 1-8），用于反映 SINUMERIK 802D 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。

表 1-8　SINUMERIK 802D 的系统报警及处理方法

序号	报警号	报警信息	报警内容	处理方法
1	#1002	系统故障%1（%1 为系统故障号）	显示数控装置内部的故障状态，与故障号一起对故障原因和故障部位给出说明	1）按 PCU 面板上的［RESET］复位键，看是否能够消除报警，若报警消除可重新启动零件加工程序；若报警不能消除可关机重新上电以消除报警，并执行零件加工程序 2）关机重新上电后仍不能消除系统报警时，可在不更换系统硬件的前提下，利用 8MB PCMCIA 存储卡或外接计算机进行批量调试（后续章节介绍批量调试方法） 3）进行批量调试后仍不能消除系统报警时，可更换数控装置内的相关硬件，如 PCU 控制板等；然后利用 8MB PCMCIA 存储卡或外接计算机进行批量调试 4）如仍不能消除故障，可向西门子自动化与驱动集团寻求技术支持
2	#1003	自动清除式报警%1 的报警指示字为 0（%1 为错误的报警编号）	编译循环程序的生产厂家或者自我清除式报警的操作系统使用了该系统不允许的地址（零指示字）	
3	#1004	对 NCK 报警的反应不正确	操作系统或编译循环程序的生产厂家配置的报警反应动作不正确	
4	#1005	操作系统故障%1 参数%2%3%4（%1 为操作系统错误编码，%2、%3、%4 分别为操作系统错误参数 1、2、3）	系统识别出系统中存在 1 个严重的故障	

（续）

序号	报警号	报警信息	报警内容	处理方法
5	#1010	通道%1 系统错误%2 动作%3（%1 为通道号,%2 为系统错误编号,%3 为动作编号/动作名称）	显示数控装置内部的故障状态和传送的错误编号，与故障号一起对故障原因和故障部位给出说明	1）按 PCU 面板上的［RESET］复位键，看是否能够消除报警，若报警消除可重新启动零件加工程序；若报警不能消除可关机重新上电以消除报警，并执行零件加工程序 2）关机重新上电后仍不能消除系统报警时，可在不更换系统硬件的前提下，利用 8MB PCMCIA 存储卡或外接计算机进行批量调试（后续章节介绍批量调试方法） 3）进行批量调试后仍不能消除系统报警时，可更换数控装置内的相关硬件，如 PCU 控制板等；然后利用 8MB PCMCIA 存储卡或外接计算机进行批量调试 4）如仍不能消除故障，可向西门子自动化与驱动集团寻求技术支持
6	#1011	通道% 1% 3 系统故障% 2（%1为通道号,%2 为系统故障号,%3 为数据块编号或标号等任选参数）		
7	#1012	通道%1 系统故障%2（%1 为通道号,%2 为系统故障号）		
8	#1014	通道%1 系统故障%2（%1 为通道号,%2 为系统故障号）		
9	#1015	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号,%2 为坐标轴号,%3 为系统故障号）		
10	#1016	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号,%2 为坐标轴号,%3 为系统故障号）		
11	#1017	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号,%2 为坐标轴号,%3 为系统故障号）		
12	#1018	在通道%1 任务%2 位置%3FPU 状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号,%2 为任务号，%3为位置优先级,%4 为 FPU 状态）	处理器的浮点计算出错	
13	#1019	在地址%3 通道%1 任务%2FPU 状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号,%2 为任务号,%3 为运算出错的地址代码,%4 为 FPU 状态）	处理器的浮点单位未将计算误差考虑在内	

3）除此之外，还可借助 PCU 面板（正面）右上角挡板内的 4 个发光二极管和 PP72/48 模块上的 4 个发光二极管及 SIMODRIVE 611UE 驱动装置上的 6 字符 7 段 LED（带小数点）来判定 SINUMERIK 802D 系统的故障，然后排除。

1.4 SINUMERIK 802D solution line 系统

SINUMERIK 802D solution line（简称 802Dsl）是西门子公司在 2005 年初推出的一款结构紧凑的基于新一代伺服驱动装置 SINAMICS S120 的经济型控制系统，是车削、铣削、钻削、磨削及冲压应用的理想选择。它的 CNC 操作面板将 CNC、PLC、HMI 和通信任务集成在同一个组件中，被称为 PCU。该操作面板可通过 DRIVE－CLiQ 接口与数字驱动 SINAMICS S120 进行通信，最多控制 6 个数字轴（5 个 NC 轴和 1 个 PLC 轴，其中 5 个 NC 轴中可以有 2 个主轴）；也可通过 Profibus 接口与 ADI4 模块通信，实现模拟轴的控制。它与 SINUMERIK 802D 的区别见表 1-9。

表 1-9　SINUMERIK 802Dsl 与 SINUMERIK 802D 的区别

序号	比较类型	项目内容		802Dsl	802D
1	组件	屏幕	尺寸	10.4in 液晶	10.4in 液晶
			彩色显示	16 色真彩	选件
		存储介质	USB	支持	不支持
			PC 卡	CF 卡 支持热插拔	PCMCIA 卡 不支持热插拔
			CNC 用户内存	512K	256K
		通信接口	RS232	支持	支持
			以太网口	支持	不支持
		模拟量输出接口		MCPA 模块	驱动器端
2	PLC	数字 I/O	输入点	最大 216（3×72）	最大 144（2×72）
			输出点	最大 144（3×48）	最大 96（2×48）
		标志寄存器/位		2048	2048
		定时器/个		40	32
		计数器/个		32	32
		子程序库/个		64	64
		PLC 最小时钟周期/ms		12	12
		在线诊断		支持	支持
3	程序管理	程序存储器	最大程序数	99	99
		子程序嵌套(最大值)		8	8
		方言支持（非西门子 G 码）		支持	支持
		图形编程		支持	支持

序号	比较类型	项目内容		802Dsl	802D
4	CNC 功能	预读功能/段		20	10
		动态预处理存储器	先进先出	支持	支持
		Frame 功能	镜像,比例缩放,旋转	支持	支持
		基本偏置/个		1	1
		零点偏置/个		6	6
5	语言	支持语言		16 国	16 国
		中文支持	PLC	支持	支持
			NC 程序	可用中文命名	不可用中文命名
6	补偿	螺距误差补偿		支持	支持
		反向间隙补偿		支持	支持
		测量系统误差补偿		支持	支持
		摩擦补偿		支持	不支持
7	刀具偏置	刀具数目		32	32
		刀沿数		32	64
		长度/半径补偿		支持	支持
		刀具位置补偿		支持	支持
		平面刀具半径偏置		支持	支持
		刀尖半径补偿		支持	支持
		几何/磨损补偿		支持	支持
8	连接件	驱动装置		SINAMICS S120	611UE
		驱动与系统通信		高速驱动接口 DRIVE－CLiQ	Profibus
		电动机电子铭牌		有(无须手动配置)	无(必须手动配置)

1.4.1　SINUMERIK 802D solution line 的结构组成

SINUMERIK 802Dsl 系统的硬件组成如图 1-20、图 1-21 所示。

（1）硬件组成　SINUMERIK 802Dsl 系统的硬件包括数控装置、伺服驱动装置和伺服电缆三部分。

1）数控装置：不仅包含基于 Linux 全新开发的集成式操作面板 PCU210.3（配置 10.4in TFT 彩色液晶超薄显示器，采用奔腾Ⅲ型 CPU 芯片）、机床控制面板、水平安装式或垂直安装式 CNC 键盘和数字量输入输出模块 PP72/78（最多 3 块），还包含用于备份全部调试数据文件和子程序的 CF 卡（可选件）以及连接外设调试计算机的 RS232 隔离器（可选件）和 USB 接口。另外，

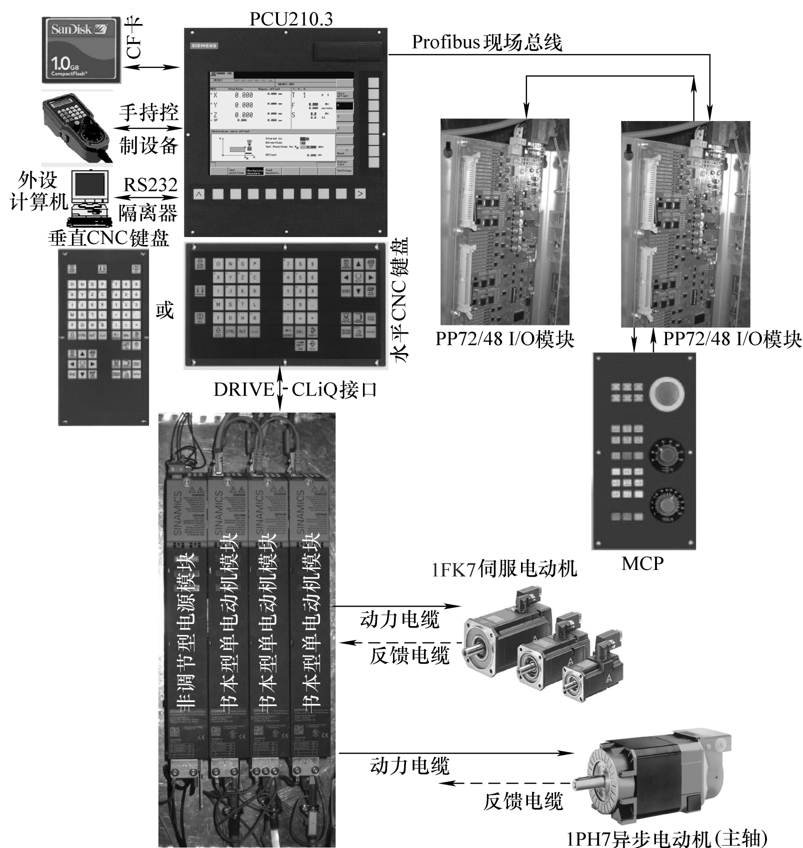


图 1-20 SINUMERIK 802Dsl 系统的硬件组成（不带 MCPA 模块）

802Dsl 可选择配置 MCPA 模块以连接模拟主轴的 ±10V（X701）模拟输出端，或连接外部机床控制面板接口，或连接作为快速输入输出的 1 字节输入输出端口。既可通过 Profibus 接口连接 PP72/48 模块，又可通过 DRIVE - CLiQ 接口连接 SINAMICS S120 驱动器。没有硬盘、电池和风扇，电源容差为 $24V^{+4.8}_{-3.6}$DC。

2）伺服驱动装置：802Dsl 系统采用书本型 SINAMICS S120 驱动器，并通过 DRIVE - CLiQ 通信系统实现 PCU210.3 与 S120 的通信。SINAMICS 是西门子公司新一代的驱动产品，它将逐步取代现有的 MASTERDRIVES 及 SIMODRIVE 系列的驱动系统。SINAMICS S120 是集 V/F 控制、矢量控制和伺服控制于一体的多轴驱动控制系统，具有模块化的设计，各模块（包括控制单元模块、整流/回馈模块、电动机模块、传感器模块和电动机编码器等）间通过高速驱动接口 DRIVE - CLiQ 相互连接。它不仅能控制三相异步电动机，还能控制同步电动机、扭矩电动机和直线电动机。S120 的驱动数据包含在数控系统的调试数据中，并可通过优化工具 Start - Up Tool 进行自动优化和手动优化。所配置的 1FK7 紧凑型伺服电动机和 1PH7 系列主轴电动机均带有 DRIVE - CLiQ 接口。

3）伺服电缆（见图 1-22）：包括 PCU 连接 PP72/48 模块的 Profibus 现场总线电缆，PCU 连接驱动器 S120 的 DRIVE - CLiQ 电缆，电动机到驱动器 S120 的动力电缆（分带制动器和不带制动器两种情况）和电动机到驱动器 S120 的 DRIVE - CLiQ 信号电缆，以及 PP72/48 模块到端子转换器的 50 芯扁平电缆和 MCPA 模块到机床控制面板的 2×50 芯扁平电缆（非西门子提供）。



图1-21　SINUMERIK 802Dsl 系统的硬件组成（带 MCPA 模块）

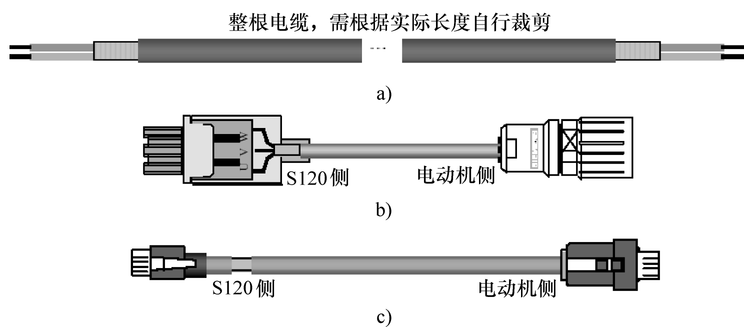


图1-22　SINUMERIK 802Dsl 的伺服电缆

a）Profibus 现场总线电缆　b）电动机驱动器 S120 的动力电缆（MOTION－CONNECT）

c）电动机到驱动器 S120 的 DRIVE－CLiQ 信号电缆

（2）软件组成　SINUMERIK 802Dsl 的软件由 PCU 中内部存储器（断电可保持）上的系统软件和随机工具盒软件（与系统软件相匹配）组成。

1）PCU 中内部存储器上的系统软件。

① Boot 引导软件：负责把内部存储器上的系统软件装载至用户存储器 DRAM 中并启动系统。

② HMI 软件：负责执行所有的操作功能。

③ NCK 软件：执行所有的 CNC 功能。

④ PLC 软件：负责循环执行内装 PLC 用户程序。

⑤ 驱动软件：负责实现驱动控制。

2）随机工具盒软件：包含用于控制系统配置的软件工具，须将其安装在 PG/PC 上使用。

① 包含工艺安装文件和循环包及可补充加载的语言包等 802Dsl 配置数据。

② SIMATIC Automation 许可证管理器以管理许可证密匙，如用于 RCS802 等。

③ NC 调试和诊断工具 RCS802：备份和恢复所有的机床数据与加工程序，制作用户报警文本和自定义循环，进行以太网 DNC 加工和远程诊断；可通过 RS232 通信电缆（见图 1-23）、以太网或远程控制功能连接 PG/PC，但后两者需要许可证密匙。

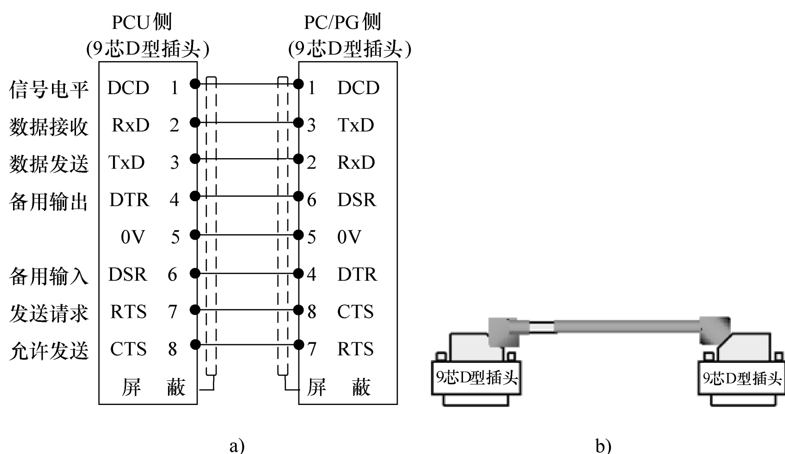


图 1-23 SINUMERIK 802Dsl 的 RS232 通信电缆

a）接线 b）实物

注：1. 计算机的保护地与机床电气柜的保护地共地，以免损坏计算机或 802Dsl 的硬件。

2. 802Dsl 的通信为硬件握手协议，故通信电缆严格按图连接。

④ 编程调试工具 PLC802：通过 RS232 通信电缆或以太网实现 PCU 与外设 PG/PC 的连接，并使用 S7－200 指令集在 S7－Micro/WIN 界面下编辑 PLC 程序。

⑤ PLC 用户文件库，即 PLC 示例程序。

⑥ 启动工具：通过 HMI 进行驱动的开机调试工具，属于 HMI 高级版的衍生产品。

⑦ 驱动器 S120 调试软件 Starter 或 Scout：Scout 软件中包含 Starter 软件，Scout 软件需要授权，而 Starter 软件不需要授权，且二者不能同时安装于 PG/PC 中。另外，安装 Starter 或 Scout 之前，需要安装 Step7 软件的最新版本（如 Step7 V5.4）。若使用 S120 的 DCC 功能，还需安装 CFC 的最新软件和授权。通过 DP 通信卡或 RS232 电缆可实现驱动器 S120 与 PG/PC 的连接，常用的 DP 通信卡有 CP5512、CP5511 和 CP5613 等。

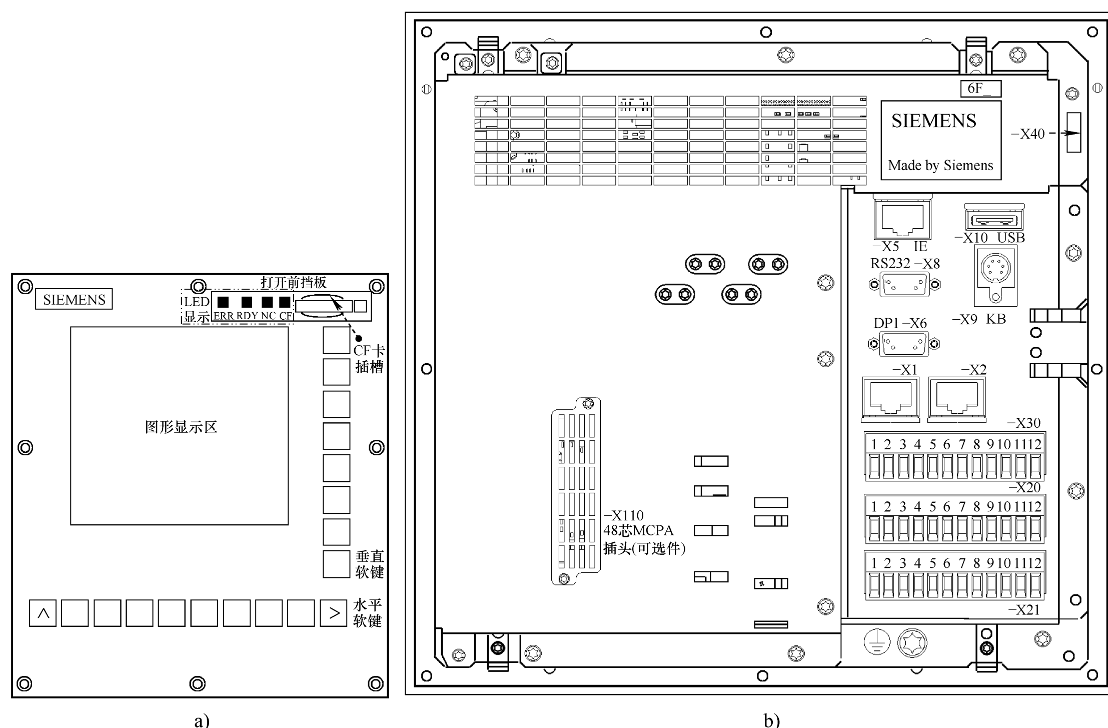
1.4.2 SINUMERIK 802D solution line 的功能连接

（1）PCU 面板的接口 如图 1-24 所示。

1）CF 卡插槽和 4 个 LED：打开 802Dsl PCU 面板（正面）右上角的前挡板后，可看到一个 50 芯的 CF 卡插槽和 4 个 LED。

① CF 卡插槽支持 FAT16 或 FAT32 格式的 CF 卡文件（如开机调试数据、NC 程序、执行软件升级和储存用户数据及保存设定参数等），SINUMERIK 允许使用的 CF 卡为 SanDisk（订货号 6FC5313－5AG00－0AA0）。

② 红色 ERR 指示灯表示 PCU 出现严重错误，可通过重新上电消除该错误；绿色 RDY 指示



a)　　b)

图 1-24　SINUMERIK 802Dsl 的 PCU 面板接口图

a）正面图　b）背面图

灯表示系统运行就绪；黄色 NC 指示灯表示生命符号监控；黄色 CF 指示灯（闪烁）表示 CF 卡正进行存取或写入操作。

2）X5（IE）：以太网接口，属于 8 芯 RJ45 插口。通过 Peer - to - Peer 以太网实现 PCU 与 PG/PC 的连接，或通过以太网将 PCU 连接至公司网络。X5 接口的 8 个引脚中 Pin1 为 TxP（发送数据 + ），Pin2 为 TxN（发送数据 - ），Pin3 为 RxP（接收数据 + ），Pin6 为 RxN（接收数据 - ），其他引脚空置。

3）X9：CNC 全键盘接口，属于 6 芯 PS/2 插口。

4）X10：4 芯 USB 接口，用于连接 USB 设备。该接口的驱动软件为 SW1.1，负载为 0.5A。X10 接口共有 A1（P5_USB，5V 电源电压）、A2（DN_USB，通道 0 的 USB 数据）、A3（DP_USB，通道 0 的 USB 数据 + ）和 A4（接地 M）四个引脚。

5）X8：RS232 接口，属于 9 芯孔式 D - Sub 插座。通过该接口和 RS232 通信电缆可连接一台外设 PG/PC，从而经由编程调试工具 PLC802 和 NC 调试诊断工具 RCS802 实现外设 PG/PC 与 PCU 间数据的交换。该接口的 9 个引脚中 Pin1 为 DCD（接收信号电平），Pin2 为 RxD（接收数据），Pin3 为 TxD（传送数据），Pin4 为 DTR（数据终端就绪），Pin5 为 M（接地），Pin6 为 DSR（运行就绪状态），Pin7 为 RTS（请求发送），Pin8 为 CTS（允许发送），Pin9 空置。

6）X6（DP1）：Profibus - DP 接口，属于 9 芯孔式 D - Sub 插座。通过该接口可实现 PCU 与外设模块 PP72/48 的通信，通信时使用 Profibus 协议 Profibus - DP，波特率为 12Mbit/s。该接口的 9 个引脚中 Pin1 为屏蔽/信号地，Pin3（RxD/TxD - P）和 Pin8（RxD/TxD - N）分别为 RS485 数据接收/发送的 P 信号和 N 信号，Pin4 和 Pin9 分别为用于转发器方向控制的 CNTR_P 信号和 CNTR_N 信号，Pin2（M24）和 Pin7（P24）分别为带短路保护且无电位隔离的 24V 输出电源（150mA）的参考电位和 DC + 24V，Pin5（DGND）和 Pin6 分别为用于终端电阻的带短路保护的

5V 电源（90mA）的参考电位和 DC +5V。

因 SINUMERIK 802Dsl 是通过 Profibus 总线和 DRIVE – CLiQ 总线与外设进行通信的，故总线的正确连接非常重要。连接 Profibus 总线时，PCU 是 Profibus 的主设备，每个 Profibus 从设备（如 PP72/48 模块和 ADI4 模块）均有自己的总线地址并可按任意顺序进行排列，但总线地址不能有冲突；同时 PP72/48 的总线地址由模块上的地址开关 S1 设定（第 1、2、3 块 PP72/48 的总线地址分别设定为 9、8、7）。通常，可按图 1-25 所示进行 Profibus 现场总线的连接（Profibus 两个终端设备的终端电阻开关拨至 ON 位置）。

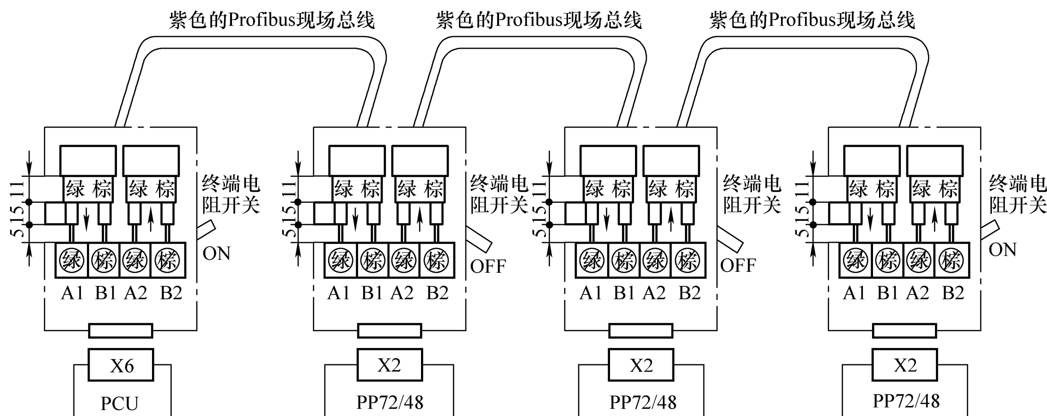


图 1-25 Profibus 现场总线的连接

7）X1、X2：DRIVE – CLiQ 接口，属于 8 芯 RJ45 插口，通过 DRIVE – CLiQ 接口可实现 PCU 与驱动器 S120 的通信。DRIVE – CLiQ 接口的 8 个引脚中 Pin1 为 TxP（发送数据 +），Pin2 为 TxN（发送数据 –），Pin3 为 RxP（接收数据 +），Pin6 为 RxN（接收数据 –），其他引脚空置。

8）X30：手轮接口，属于螺栓连接的 12 型端子插头。最多可连接 2 个电子手轮，传输信号为最大频率为 500kHz 的 5V 矩形波（TTL 电平或 RS422），信号的 A 相和 B 相相位偏移为 90° ± 30°。该接口的 12 个引脚中 Pin1 和 Pin7 为最大电流 250mA 的 5V 电源信号 3P5，Pin2 和 Pin8 为接地 M，Pin3 和 Pin4 分别为手轮 1 的 A 相基本脉冲输入信号 1A 和取反脉冲输入信号 *1A，Pin5 和 Pin6 分别为手轮 1 的 B 相基本脉冲输入信号 1B 和取反脉冲输入信号 *1B，Pin9 和 Pin10 分别为手轮 2 的 A 相基本脉冲输入信号 2A 和取反脉冲输入信号 *2A，Pin11 和 Pin12 分别为手轮 2 的 B 相基本脉冲输入信号 2B 和取反脉冲输入信号 *2B。

9）X20、X21：数字量输入端/数字量输出端，属于螺栓连接的 12 型端子插头，可连接 SINAMICS 驱动器的相关信号。其接口的引脚分配及信号内容见表 1-10。

（2）输入输出模块 PP72/48 的接口及其与机床控制面板（可选件）和组件 ADI4（4 轴模拟驱动接口）的连接　输入输出模块 PP72/48 的接口如图 1-26 所示。

1）输入输出模块 PP72/48 可提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端，SINUMERIK 802Dsl 系统最多可配置 3 块 PP72/48 模块。每个 PP 模块上有 3 个独立的 50 芯插槽 X111、X222 和 X333（扁平电缆插头），每个插槽内有 24 位数字量输入和 16 位数字量输出（输出驱动能力为 0. 25A，同时系数为 1）。

2）输入信号的公共端可由 PP72/48 模块任意接口的第 2 脚供电，也可由 X1 接口（已标明 24V、0V 和 PE 的 3 芯螺纹端子式插头）引入 DC24V 电源，连接时 24V 电源的 0V 端子接 PP72/48 每个接口的第 1 脚。

表 1-10　X20、X21 接口的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号（X20）	信号内容（X20）	引脚	对应信号（X21）	信号内容（X21）	接口图例
1	DI0	分别为数字输入端 0，1，2，3；电压 DC24V（20.4～28.8V），0 信号电平为 -3～5V，1 信号电平为 11～30V	1	DI4	分别为数字输入端 4，5，6，7；电压 DC24V（20.4～28.8V），0 信号电平为 -3～5V，1 信号电平为 11～30V	1
2	DI1		2	DI5		
3	DI2		3	DI6		
4	DI3		4	DI7		
5	M_3	DI0～DI3 的接地	5	M_4	DI4～DI7 的接地	
6	P24_1	DI/D08～DI/D011 的 DC24V（数字输出端）	6	P24_2	DI/D08～DI/D011 的 DC24V（数字输出端）	
7	DI/D08	数字输入/数字输出，作为输出端时，1 信号的最大输出电流为 5mA～0.5A，总电流最大输出 2A（同时系数为 0.5）。作为输入端见插头 X21	7	DI/D012	数字输入/数字输出，作为输入端时，电压 DC24V（20.4～28.8V），0 信号电平为 -3～5V，1 信号电平为 11～30V。作为输出端时见插头 X20	
8	DI/D09		8	DI/D013		
9	M_1	DI/D08～DI/D011 的接地	9	M_2	DI/D012～DI/D015 的接地	
10	DI/D010	数字输入/数字输出	10	DI/D014	数字输入/数字输出	12
11	DI/DI11	数字输入/数字输出	11	DI/DI15	数字输入/数字输出	
12	M_1	DI/D08～DI/D011 的接地	12	M_2	DI/D012～DI/D015 的接地	

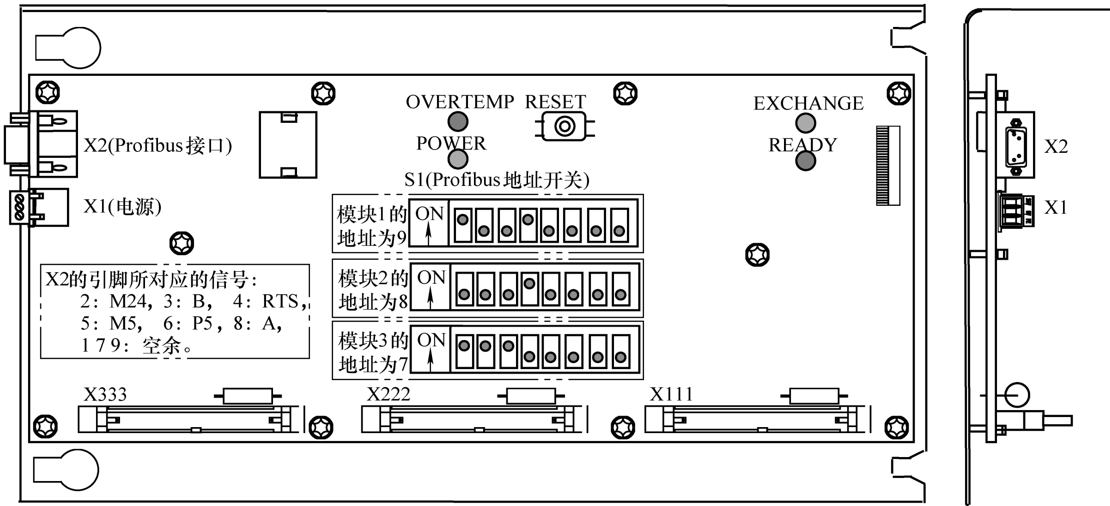


图 1-26　输入输出模块 PP72/48 的接口图

3）输出信号的驱动电流由 PP72/48 各接口的公共端（即 X111/X222/X333 的端子 47/48/49/50）提供，输出公共端既可使用系统提供的 DC24V，也可使用独立的电源（该电源的 0V 与系统 24V 电源的 0V 连接）。

4）PP72/48 上的 4 个发光二极管：绿色 POWER 为电源准备就绪指示灯，红色 READY 表明 PP72/48 模块已处于运行准备状态但未与主站 DP 进行通信连接，绿色 EXCHANGE 表明 PP72/48 模块已处于运行准备状态且与主站 DP 进行 Profibus 数据交换，红色 OVERTEMP 为模块超温指示灯。

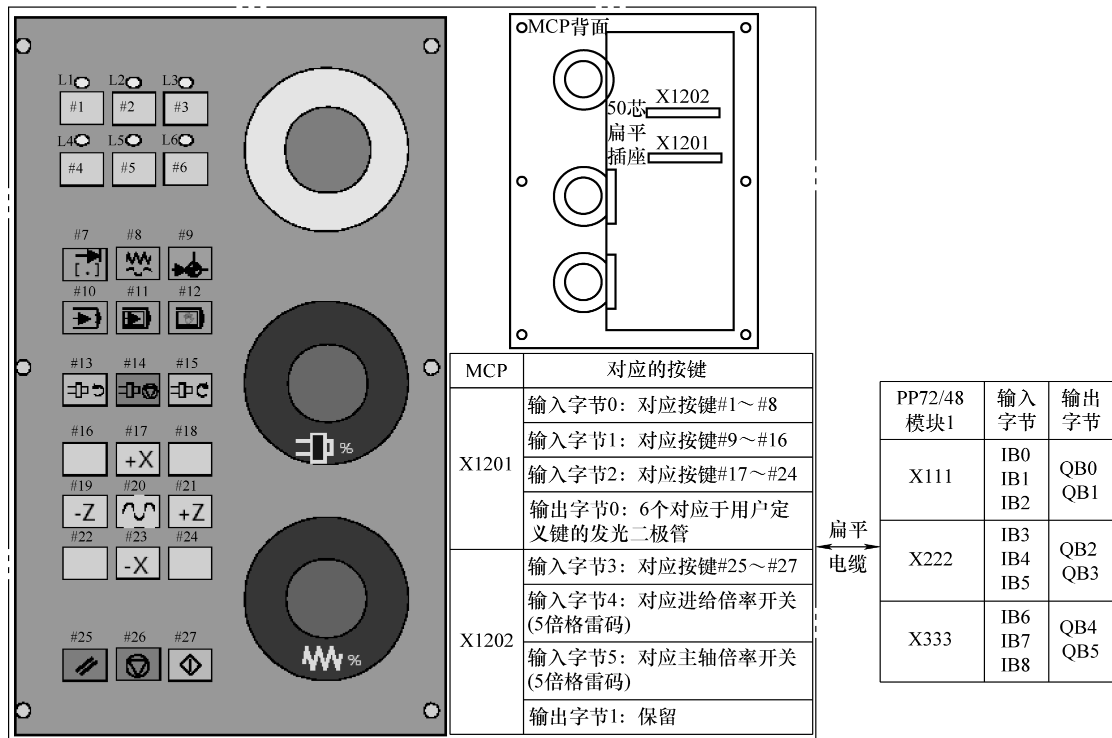
5）PP72/48 模块输入输出信号的逻辑地址与接口端子号的对应关系见表 1-11。

表 1-11　PP72/48 模块输入输出信号的逻辑地址与接口端子号的对应关系

PP72/48 模块 1								PP72/48 模块 2								PP72/48 模块 3							
端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333	端子	X111	X222	X333
1	0V（DICOM）			24	I2.5	I5.5	I8.5	1	0V（DICOM）			24	I11.5	I14.5	I17.5	1	0V（DICOM）			24	I20.5	I23.5	I26.5
2	DC24V 输出 *			25	I2.6	I5.6	I8.6	2	DC24V 输出 *			25	I11.6	I14.6	I17.6	2	DC24V 输出 *			25	I20.6	I23.6	I26.6
3	I0.0	I3.0	I6.0	26	I2.7	I5.7	I8.7	3	I9.0	I12.0	I15.0	26	I11.7	I14.7	I17.7	3	I18.0	I21.0	I24.0	26	I20.7	I23.7	I26.7
4	I0.1	I3.1	I6.1	27，29	无定义			4	I9.1	I12.1	I15.1	27，29	无定义			4	I18.1	I21.1	I24.1	27，29	无定义		
5	I0.2	I3.2	I6.2	28，30	无定义			5	I9.2	I12.2	I15.2	28，30	无定义			5	I18.2	I21.2	I24.2	28，30	无定义		
6	I0.3	I3.3	I6.3	31	Q0.0	Q2.0	Q4.0	6	I9.3	I12.3	I15.3	31	Q6.0	Q8.0	Q10.0	6	I18.3	I21.3	I24.3	31	Q12.0	Q14.0	Q16.0
7	I0.4	I3.4	I6.4	32	Q0.1	Q2.1	Q4.1	7	I9.4	I12.4	I15.4	32	Q6.1	Q8.1	Q10.1	7	I18.4	I21.4	I24.4	32	Q12.1	014.1	Q16.1
8	I0.5	I3.5	I6.5	33	Q0.2	Q2.2	Q4.2	8	I9.5	I12.5	I15.5	33	Q6.2	Q8.2	Q10.2	8	I18.5	I21.5	I24.5	33	Q12.2	Q14.2	Q16.2
9	I0.6	I3.6	I6.6	34	Q0.3	Q2.3	Q4.3	9	I9.6	I12.6	I15.6	34	Q6.3	Q8.3	Q10.3	9	I18.6	I21.6	I24.6	34	Q12.3	Q14.3	Q16.3
10	I0.7	I3.7	I6.7	35	Q0.4	Q2.4	Q4.4	10	I9.7	I12.7	I15.7	35	Q6.4	Q8.4	Q10.4	10	I18.7	I21.7	I24.7	35	Q12.4	Q14.4	Q16.4
11	I1.0	I4.0	I7.0	36	Q0.5	Q2.5	Q4.5	11	I10.0	I13.0	I16.0	36	Q6.5	Q8.5	Q10.5	11	I19.0	I22.0	I25.0	36	Q12.5	Q14.5	Q16.5
12	I1.1	I4.1	I7.1	37	Q0.6	Q2.6	Q4.6	12	I10.1	I13.1	I16.1	37	Q6.6	Q8.6	Q10.6	12	I19.1	I22.1	I25.1	37	Q12.6	Q14.6	Q16.6
13	I1.2	I4.2	I7.2	38	Q0.7	Q2.7	Q4.7	13	I10.2	I13.2	I16.2	38	Q6.7	Q8.7	Q10.7	13	I19.2	I22.2	I25.2	38	Q12.7	Q14.7	Q16.7
14	I1.3	I4.3	I7.3	39	Q1.0	Q3.0	Q5.0	14	I10.3	I13.3	I16.3	39	Q7.0	Q9.0	Q11.0	14	I19.3	I22.3	I25.3	39	Q13.0	Q15.0	Q17.0
15	I1.4	I4.4	I7.4	40	Q1.1	Q3.1	Q5.1	15	I10.4	I13.4	I16.4	40	Q7.1	Q9.1	011.1	15	I19.4	I22.4	I25.4	40	Q13.1	Q15.1	Q17.1
16	I1.5	I4.5	I7.5	41	Q1.2	Q3.2	Q5.2	16	I10.5	I13.5	I16.5	41	Q7.2	Q9.2	Q11.2	16	I19.5	I22.5	I25.5	41	Q13.2	Q15.2	Q17.2
17	I1.6	I4.6	I7.6	42	Q1.3	Q3.3	Q5.3	17	I10.6	I13.6	I16.6	42	Q7.3	Q9.3	Q11.3	17	I19.6	I22.6	I25.6	42	Q13.3	Q15.3	Q17.3
18	I1.7	I4.7	I7.7	43	Q1.4	Q3.4	Q5.4	18	I10.7	I13.7	I16.7	43	Q7.4	Q9.4	Q11.4	18	I19.7	I22.7	I25.7	43	Q13.4	Q15.4	Q17.4
19	I2.0	I5.0	I8.0	44	01.5	Q3.5	Q5.5	19	I11.0	I14.0	I17.0	44	Q7.5	Q9.5	Q11.5	19	I20.0	I23.0	I26.0	44	Q13.5	Q15.5	Q17.5
20	I2.1	I5.1	I8.1	45	Q1.6	Q3.6	Q5.6	20	I11.1	I14.1	I17.1	45	Q7.6	Q9.6	Q11.6	20	I20.1	I23.1	I26.1	45	Q13.6	Q15.6	Q17.6
21	I2.2	I5.2	I8.2	46	Q1.7	Q3.7	Q5.7	21	I11.2	I14.2	I17.2	46	Q7.7	Q9.7	Q11.7	21	I20.2	I23.2	I26.2	46	Q13.7	Q15.7	Q17.7
22	I2.3	I5.3	I8.3	47，49	DOCOM * *			22	I11.3	I14.3	I17.3	47，49	DOCOM * *			22	I20.3	I23.3	I26.3	47，49	DOCOM * *		
23	I2.4	I5.4	I8.4	48，50	DOCOM * *			23	I11.4	I14.4	I17.4	48，50	DOCOM * *			23	I20.4	I23.4	I26.4	48，50	DOCOM * *		

注：* 表示可作为输入信号的公共端，* * 表示数字输出公共端，连接 DC24V。

6）SINUMERIK 802Dsl 系统可选择配置标准的机床控制面板。该面板上的所有按键输入信号和指示灯信号通过 MCP 背面的 X1201 和 X1202 接口（50 芯扁平电缆插座），经由扁平电缆与 PP72/48 模块 1（Profibus 总线地址为 9）上 X111/X222/X333 中的任意两个插座相连接，如图 1-27所示。



MCP	对应的按键
X1201	输入字节0：对应按键#1～#8
	输入字节1：对应按键#9～#16
	输入字节2：对应按键#17～#24
	输出字节0：6个对应于用户定义键的发光二极管
X1202	输入字节3：对应按键#25～#27
	输入字节4：对应进给倍率开关(5倍格雷码)
	输入字节5：对应主轴倍率开关(5倍格雷码)
	输出字节1：保留

PP72/48 模块1	输入字节	输出字节
X111	IB0 IB1 IB2	QB0 QB1
X222	IB3 IB4 IB5	QB2 QB3
X333	IB6 IB7 IB8	QB4 QB5

图 1-27　机床控制面板与 PP72/48 模块 1 的连接

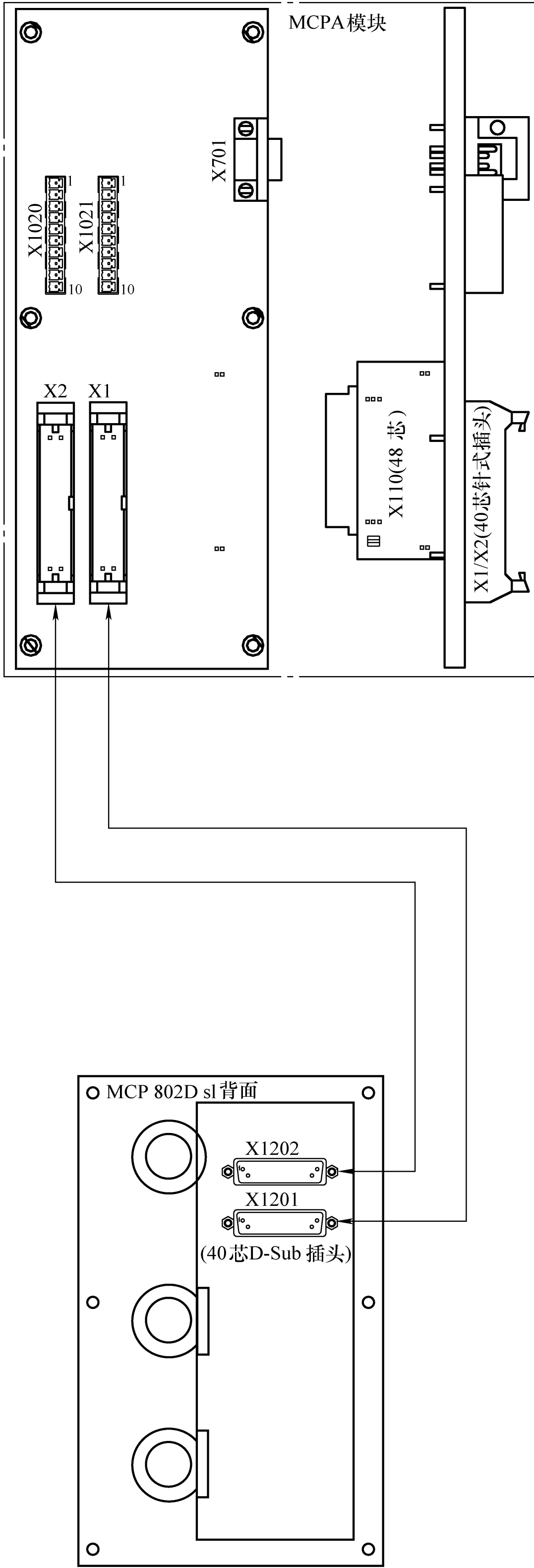
（3）MCPA 模块的接口及其与机床控制面板 802Dsl（可选件）的连接（见图 1-28）　SINUMERIK 802Dsl 系统可通过 MCPA 模块选择配置机床控制面板 802Dsl。MCPA 模块使用 48 芯针式插头 X110 与 PCU 面板连接，使用 0.6m 长的 40 芯扁平电缆与 MCP 802Dsl 连接（针式插头 X1、X2 分别接 D－Sub 插头 X1201 和 X1202），使用 9 芯 D－Sub 插头 X701 连接 1 根模拟量主轴（丝杠直连）。MCPA 模块经 10 芯针式插头 X1021 的引脚 1 和 10 获取 DC24V 电源。10 芯针式插头 X1020、X1021 和 9 芯 D－Sub 插头 X701 的引脚分配及信号内容见表 1-12。

（4）ADI4（4 轴模拟驱动接口）模块的接口及其与 PCU 的连接（见图 1-29）　SINUMERIK 802Dsl 系统可通过 Profibus 现场总线最多连接 2 个 ADI4 模块（订货号 6FC5211－0BA01－0AA4），以实现模拟伺服驱动控制。

（5）SINUMERIK 802Dsl 系统的连接　如图 1-30 所示。

1.4.3　SINUMERIK 802D solution line 系统报警及故障维修

（1）自诊断报警的分类　SINUMERIK 802Dsl 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、Profibus 报警、PLC 报警、HMI 报警、SINAMICS 报警和驱动 I/O 报警六大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（见表 1-13）。

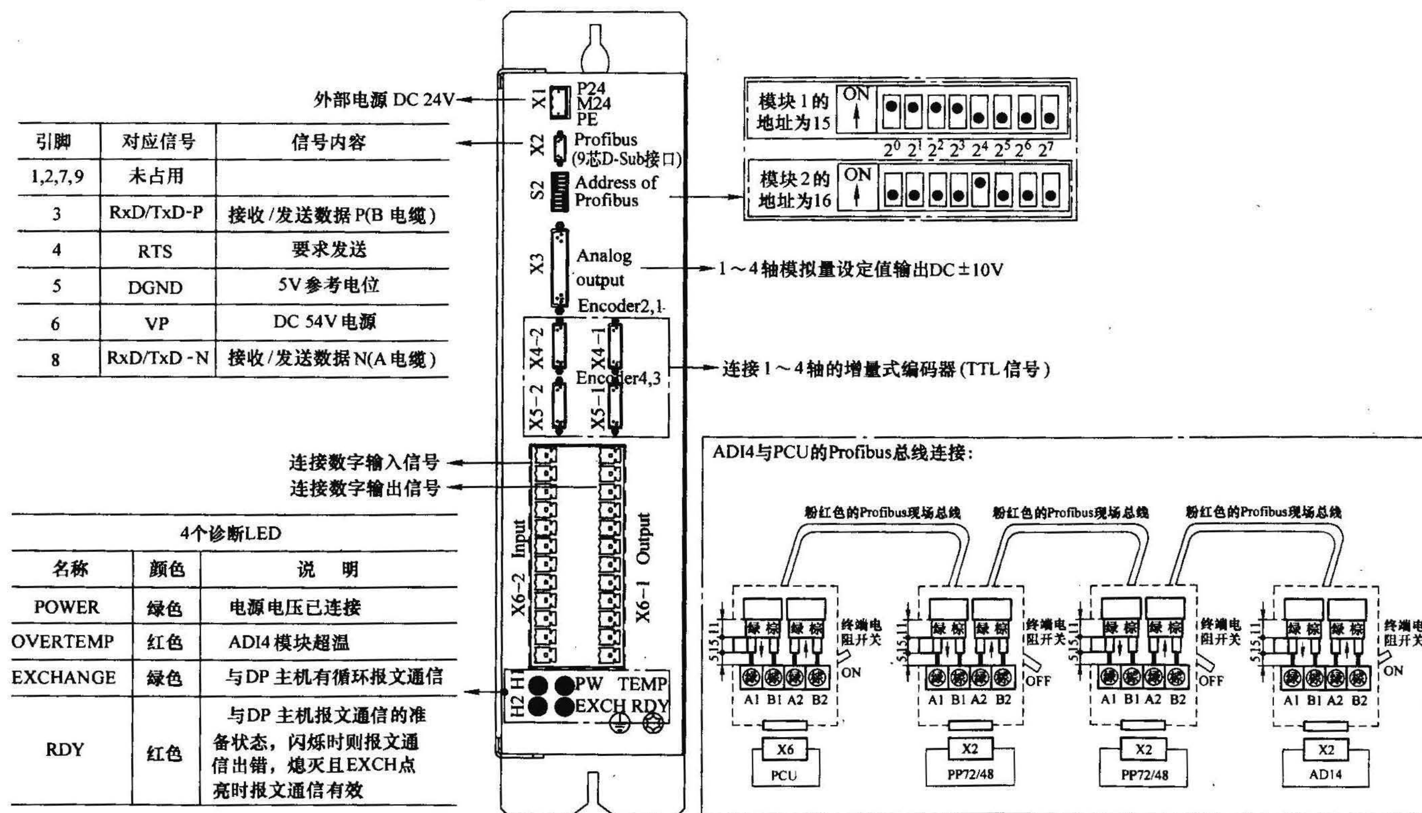


40 芯扁平电缆							
插头 X1				插头 X2			
引脚	信号名称	引脚	信号名称	引脚	信号名称	引脚	信号名称
1	KEY1	21	KEY19	1	KEY25	21	SPINDLE_0V_C
2	KEY2	22	KEY20	2	KEY26	22	SPINDLE_0V_D
3	KEY3	23	KEY21	3	KEY27	23	SPINDLE_0V_E
4	KEY4	24	KEY22	4	未占用	24	未占用
5	KEY5	25	KEY23	5	未占用	25	未占用
6	KEY6	26	KEY24	6	未占用	26	未占用
7	KEY7	27	GND	7	未占用	27	未占用
8	KEY8	28	LED1	8	未占用	28	未占用
9	GND	29	LED2	9	GND	29	未占用
10	KEY9	30	LED3	10	FEED_0V_A	30	未占用
11	KEY10	31	LED4	11	FEED_0V_B	31	未占用
12	KEY11	32	LED5	12	FEED_0V_C	32	未占用
13	KEY12	33	LED6	13	FEED_0V_D	33	未占用
14	KEY13	34	未占用	14	FEED_0V_E	34	未占用
15	KEY14	35	未占用	15	未占用	35	未占用
16	KEY15	36	GND	16	未占用	36	GND
17	KEY16	37	未占用	17	未占用	37	未占用
18	GND	38	未占用	18	GND	38	未占用
19	KEY17	39	未占用	19	SPINDLE_0V_A	39	未占用
20	KEY18	40	未占用	20	SPINDLE_0V_B	40	未占用

图 1-28 MCPA 模块的接口布置及与 MCP 802Dsl 的连接图

表 1-12　X1020、X1021 和 X701 的引脚分配及信号内容

10 芯针式插头 X1020				10 芯针式插头 X1021				9 芯 D－Sub 插头 X701		
引脚	对应信号	信号内容	备注	引脚	对应信号	信号内容	备注	引脚	对应信号	信号内容
1				1	P24	DC24V 电源		1	模拟输出	用 16 位二进制补码定点数表示的模拟输出信号的电平为 ±10V，且信号的分辨率为 12 位（转换精度 11 位与符号位之和）
2	DI9	快速数字输入 9		2	DO9	快速数字输出 9		2	未占用	
3	DI10	快速数字输入 10		3	DO10	快速数字输出 10		3	Uni－Dir2	用于单极性主轴的数字输出 +24V
4	DI11	快速数字输入 11		4	DO11	快速数字输出 11		4	Uni－Dir1	用于单极性主轴的数字输出 +24V
5	DI12	快速数字输入 12	输入端的电压为 DC24V (20.4～28.8V)，0 信号电平为 -3～5V，1 信号电平为 11～30V	5	DO12	快速数字输出 12	输出端的最大总电流为 2A，1 信号的最大输出电流为 5mA～0.5A	5	使能 1	模拟驱动的使能（无电势常开触点）
6	DI13	快速数字输入 13		6	DO13	快速数字输出 13		6	模拟输出	模拟输出 0V 基准信号
7	DI14	快速数字输入 14		7	DO14	快速数字输出 14		7	未占用	
8	DI15	快速数字输入 15		8	DO15	快速数字输出 15		8	未占用	
9	DI16	快速数字输入 16		9	DO16	快速数字输出 16		9	使能 2	模拟驱动的使能（无电势常开触点）
10	M	外壳接地		10	M	外壳接地				



引脚	对应信号	信号内容
1,2,7,9	未占用	
3	RxD/TxD-P	接收/发送数据P(B电缆)
4	RTS	要求发送
5	DGND	5V参考电位
6	VP	DC 54V电源
8	RxD/TxD-N	接收/发送数据N(A电缆)

4个诊断LED

名称	颜色	说　明
POWER	绿色	电源电压已连接
OVERTEMP	红色	ADI4模块超温
EXCHANGE	绿色	与DP主机有循环报文通信
RDY	红色	与DP主机报文通信的准备状态，闪烁时则报文通信出错，熄灭且EXCH点亮时报文通信有效

图 1-29　ADI4 模块的接口布置及其与 PCU 的连接图

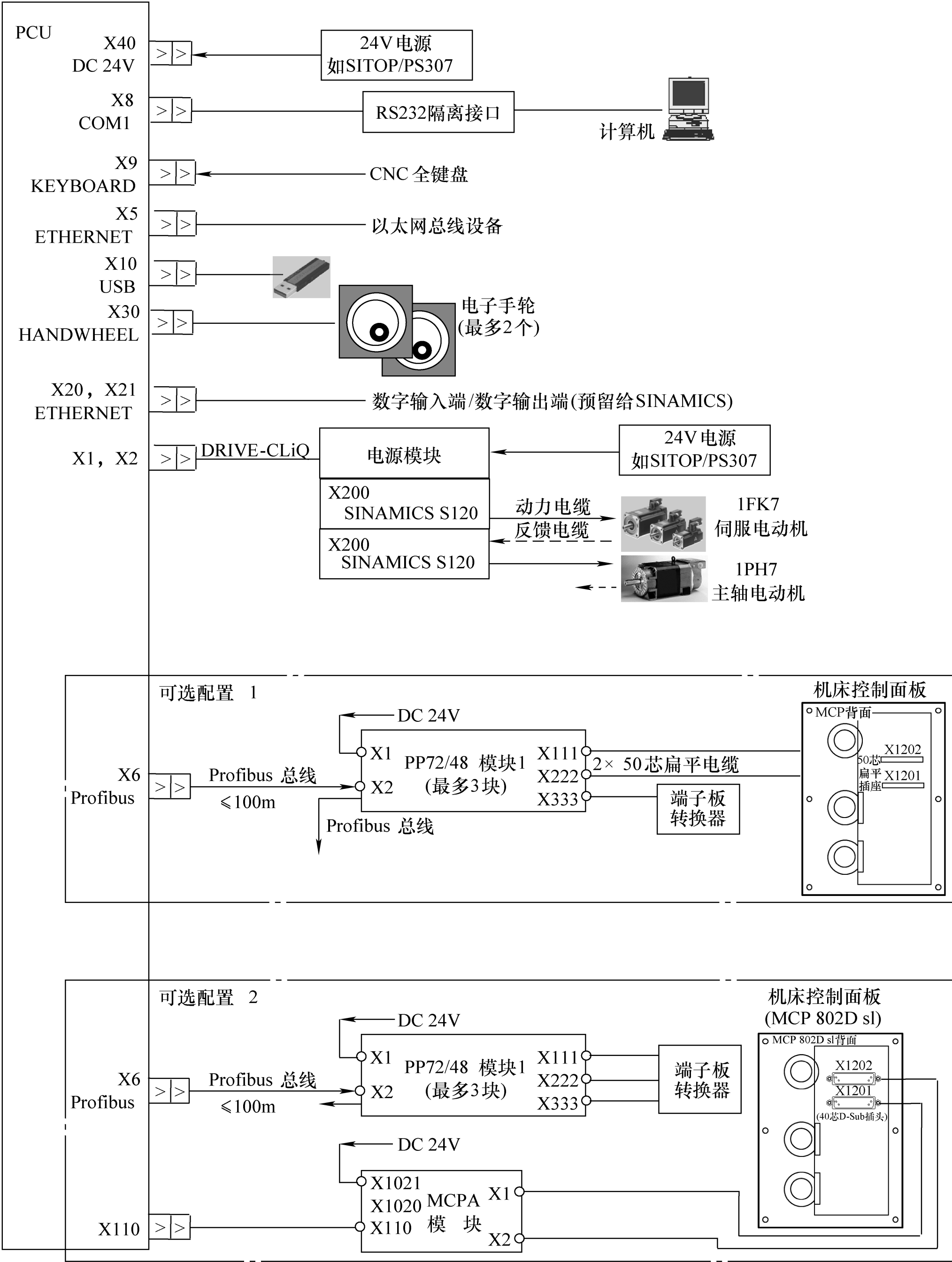


图 1-30　SINUMERIK 802Dsl 系统的连接图

（2）系统报警　报警#1000、#1001、#1002、#1003、#1005、#1010、#1011、#1012、#1013、#1014、#1015、#1016、#1017、#1018、#1019 及#1160 属于 NC 报警中的系统报警（见表 1-14），用于反映 SINUMERIK 802Dsl 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。

表 1-13 SINUMERIK 802Dsl 系统自诊断报警的分类

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">报警分类</th><th>报警号范围</th><th>序号</th><th colspan="2">报警分类</th><th>报警号范围</th></tr>
<tr><td rowspan="6">1</td><td rowspan="6">NC 报警</td><td>一般报警</td><td>002 000 ~ 009 999</td><td rowspan="10">5</td><td rowspan="10">HMI 报警</td><td>HMI 主系统</td><td>100 000 ~ 100 999</td></tr>
<tr><td>通道报警</td><td>010 000 ~ 019 999</td><td>诊断</td><td>101 000 ~ 101 999</td></tr>
<tr><td>坐标轴/主轴报警</td><td>020 000 ~ 029 999</td><td>维修</td><td>102 000 ~ 102 999</td></tr>
<tr><td>功能报警</td><td>030 000 ~ 099 999</td><td>机床</td><td>103 000 ~ 103 999</td></tr>
<tr><td>SIEMENS 循环报警</td><td>060 000 ~ 064 999</td><td>参数</td><td>104 000 ~ 104 999</td></tr>
<tr><td>用户循环报警</td><td>065 000 ~ 069 999</td><td>编程</td><td>105 000 ~ 105 999</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">Profibus 报警</td><td>380 000 ~ 380 502</td><td>存储</td><td>106 000 ~ 106 999</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">PLC 报警</td><td>一般报警</td><td>400 000 ~ 400 015</td><td>OEM</td><td>107 000 ~ 107 999</td></tr>
<tr><td>用户范围</td><td>700 000 ~ 799 999</td><td>保留</td><td>110 000 ~ 110 999;
120 000 ~ 120 999</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">SINAMICS 报警</td><td>201 000 ~ 299 999</td><td>6</td><td colspan="2">驱动及 I/O 报警</td><td>300 000 ~ 399 999</td></tr>
</table>

表 1-14 SINUMERIK 802Dsl 的系统报警及处理方法

<table>
<tr><th>序号</th><th>报警号</th><th>报警信息</th><th>报警内容</th><th>处理方法</th></tr>
<tr><td>1</td><td>#1000</td><td>系统错误%1（%1 为系统出错号）</td><td rowspan="3">显示数控装置内部报警状态，同时传递报警数量，并提供报警原因和报警位置方面的信息</td><td rowspan="13">1）按 PCU 面板上的［RESET］复位键，看是否能够消除报警，若报警消除可重新启动零件加工程序；若报警不能消除可关机重新上电以消除报警，并执行零件加工程序
2）关机重新上电后仍不能消除系统报警时，可在不更换系统硬件的前提下，利用存储卡或外接计算机进行批量调试
3）进行批量调试后仍不能消除系统报警时，可更换数控装置内的相关硬件，如 PCU 控制板等；然后利用存储卡或外接计算机进行批量调试
4）如仍不能消除故障，可向西门子自动化与驱动集团寻求技术支持</td></tr>
<tr><td>2</td><td>#1001</td><td>系统错误%1（%1 为系统出错号）</td></tr>
<tr><td>3</td><td>#1002</td><td>系统错误%1（%1 为系统出错号）</td></tr>
<tr><td>4</td><td>#1003</td><td>自动清除式报警%1 的报警指示字为 0（%1 为错误的报警编号）</td><td>编译循环程序的生产厂家或者自我清除式报警的操作系统使用了该系统不允许的地址（零指示字）</td></tr>
<tr><td>5</td><td>#1005</td><td>操作系统故障%1 参数%2%3%4（%1 为操作系统错误编码，%2、%3、%4 分别为操作系统错误参数 1、2、3）</td><td>系统识别出系统中存在 1 个严重的故障</td></tr>
<tr><td>6</td><td>#1010</td><td>通道%1 系统错误%2 动作%3（%1 为通道号，%2 为系统错误编号，%3 为动作编号/动作名称）</td><td rowspan="8">显示数控装置内部的故障状态和传送的错误编号，与故障号一起对故障原因和故障部位给出说明</td></tr>
<tr><td>7</td><td>#1011</td><td>通道%1%3%4 系统故障%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号，%3 为数据块编号或标号等任选参数，%4 为操作数量的可选参数）</td></tr>
<tr><td>8</td><td>#1012</td><td>通道%1 系统故障%2%3%4（%1 为通道号，%2 为系统故障号，%3 为参数 1，%4 为参数 2）</td></tr>
<tr><td>9</td><td>#1013</td><td>通道%1 系统错误%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号）</td></tr>
<tr><td>10</td><td>#1014</td><td>通道%1 系统故障%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号）</td></tr>
<tr><td>11</td><td>#1015</td><td>通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）</td></tr>
<tr><td>12</td><td>#1016</td><td>通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）</td></tr>
<tr><td>13</td><td>#1017</td><td>通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>报警号</th><th>报警信息</th><th>报警内容</th><th>处理方法</th></tr>
<tr><td>14</td><td>#1018</td><td>在通道%1 任务%2 位置%3 浮点处理器状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号,%2 为任务号,%3 为位置优先级,%4 为 FPU 状态）</td><td>处理器浮点装置查找到 1 个计算错误</td><td rowspan="3">1）按 PCU 面板上的［RESET］复位键，看是否能够消除报警，若报警消除可重新启动零件加工程序；若报警不能消除可关机重新上电以消除报警，并执行零件加工程序
2）关机重新上电后仍不能消除系统报警时，可在不更换系统硬件的前提下，利用存储卡或外接计算机进行批量调试
3）进行批量调试后仍不能消除系统报警时，可更换数控装置内的相关硬件，如 PCU 控制板等；然后利用存储卡或外接计算机进行批量调试
4）如仍不能消除故障，可向西门子自动化与驱动集团寻求技术支持</td></tr>
<tr><td>15</td><td>#1019</td><td>在地址%3 通道%1 任务%2FPU 状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号,%2 为任务号,%3 为运算出错的地址代码,%4 为 FPU 状态）</td><td>因计算错误，处理器浮点装置触发了意外情况</td></tr>
<tr><td>16</td><td>#1160</td><td>声明无效在%1:%2（%1 为带程序名称的路径字符串,%2 为行编号字符串）</td><td>在指定软件组件（1%）的指定行编号（2%）中存在 1 个错误</td></tr>
</table>

除此之外，还可借助 PCU 面板（正面）右上角挡板内的 4 个 LED 和 PP72/48 模块上的 4 个发光二极管及驱动器 SINAMICS S120 上的指示灯来判定 SINUMERIK 802Dsl 系统的故障，然后排除。

1.5　SINUMERIK 810D power line 系统

SINUMERIK 810D power line（下称 810D）是西门子公司在 1996 年 1 月推出的一款结构紧凑、高度集成和性能完善的全数字化数控系统，是具有手动车削操作的传统控制车床、ShopTurn 的通用车床和 ShopMill 的立式通用铣床的理想硬件平台，属于 SINUMERIK 840D power line 的简易机型。它的控制核心是一个首次集成了 CNC 和驱动系统的高性能 CCU 模块，该模块被安装在配有 2 个或 3 个驱动的功率模块盒中；它最多可控制 6 个全闭环数字伺服轴，根据需要可分别控制 4 个进给轴和 2 个主轴或 5 个进给轴和 1 个主轴；还可在 CCU 模块右侧扩展 SIMODRIVE 611D 闭环控制单元，以增加 810D 测量系统的输入接口（6 个接口）；它不仅可装配标准电动机，还可装配直线电动机和力矩电动机。

1.5.1　SINUMERIK 810D power line 的结构组成

SINUMERIK 810D 系统的硬件组成如图 1-31 所示。

（1）810D 系统的硬件　包括数控装置（CNC 和驱动系统）、人机界面和 SIMATIC S7－300 I/O 模块及伺服电缆等部分。

1）数控装置（CCU）：集成了驱动系统、NCK 和 PLC 的 CCU 模块主要有 CCU1 和 CCU3 两个版本，目前使用 CCU3 版本（CCU3.4 及以上），并且有 2 轴（驱动 2 台最大不超过 11N·m 的

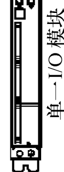


图 1-31　SINUMERIK 810D 系统的硬件组成

9/18A 进给电动机，即 2×11N・m）和 3 轴（驱动 2 台最大不超过 9N・m 的 6/12A 进给电动机和 1 台 9kW 的 18/36A 或 24/32A 的主轴电动机，即 2×9N・m+1×9kW）两种规格。通常经由 CCU 模块上的轴扩展接口在其右侧连接 1 个双轴扩展单元和 1 个单轴扩展单元，在其左侧连接 1 个单轴扩展单元，以实现最多 6 个全闭环伺服轴的控制。810D 主要选用 1FT6 或 1FK6 系列伺服电动机和 1PH7 异步式主轴电动机，并选配直线光栅尺连至 CCU 模块的 X416 接口。

2）人机界面（HMI）：主要包括操作面板、PCU 和机床控制面板及一些手持单元或手持终端 HT6 等。

① OP 单元：一般包括一个 10/12/15in TFT 显示屏和一个 NC 键盘，相当于工业计算机的显示器和键盘、鼠标。其作用是显示数据和图形，并提供人机显示界面，可实现程序和参数的编辑、修改及软键等操作。根据用户要求，可选择配置中早期的 OP030、OP031、OP032 或新一代的 OP010、OP010S、OP010C、OP012、OP015 等不同的 OP 单元（部分 OP 单元的类型及特点见表 1-15）。

② PCU（中早期时为 MMC）：实际上就是一台带有 MPI 等接口的计算机，它有自己独立的 CPU，可带硬盘和软驱。OP 单元是这台计算机的显示器，且 PCU 的控制软件（早期 Win32、中期 Win95、现在 WinNT/WinXP/Win7）被安装在这台计算机中。PCU 是专门为配合西门子 OP010、

表 1-15 OP 单元的类型及特点

发展历程	序号	名称	实 物	特 点
	1	OP030		单色液晶 LCD 模块，分辨率为 240×128，带集成控制器和 CCFL 背光，有 5 个水平软键；MMC 的功能集成在 OP030 中，需通过工具调整操作窗口；NC 不能由 OP030 启动，且不能由 OP030 进行零件程序的编辑，不能进行 NC/PLC 的系列备份
中早期 OP 单元	2	OP031		10.4in TFT 彩色显示器，分辨率为 640×480；采用机械式按键，有 8 个水平按键和 8 个垂直按键；可以连接 MMC100.2（供电电源为 DC24V/3.5A 或 DC24V/8A）或 MMC103（供电电源为 DC24V/8A）
	3	OP032		19in 操作面板，带 10.4in 彩色显示器，无 VGA 输入；采用机械式按键，有 8 个水平按键和 8 个垂直按键；可以连接 MMC100.2（供电电源为 DC24V/3.5A 或 DC24V/8A）或 MMC103（供电电源为 DC24V/8A）；面板正面的防护等级 IP54，背面为 IP20。OP032S 为超薄型操作面板，多用于 SINUMERIK 810D/840D 系统中
	4	OP010		19in 的 OP010 是 OP031 的升级替代品，可以与 PCU20/PCU50/PCU70 配合使用，并可能通过 PCU 连接外置软驱；具有 10.4in STN 彩色显示器，分辨率为 640×480，带薄膜键键盘，有字母键、数字键、光标键、控制键和热键等键组合区，1×8 个水平软键和垂直软键，面板正面的防护等级 IP65，背面为 IP00；面板上有状态 LED 以监控电源和过温，正面带有 USB 接口。OP010S 是 OP032S 的升级替代品
新一代 OP 单元	5	OP012		19in 的 OP012 可以与 PCU20/PCU50/PCU70 配合使用，并可通过 PCU 连接外置软驱；具有 12.1in TFT 彩色显示器，分辨率为 800×600，带薄膜键键盘，有字母键、数字键、光标键、控制键和热键等键组合区；显示区左右两侧各有 1 排 8 个垂直操作软键（直接按键功能），并有 2 排水平操作软键（16 个），面板正面的防护等级 IP65，背面为 IP00；面板上有状态 LED 以监控电源和过温，正面带有 USB 接口。垂直直接控制软键的状态可通过直接控制软键模块传送至 SIMATIC，而无需中间其他固件；垂直直接控制软键的信号可连接至 Profibus 总线和带光电隔离输入端的按键面板（如 PP031－MC），然后转移至 PLC 集中处理
	6	OP015		19in 的 OP015 可以与 PCU20/PCU50/PCU70 配合使用，具有 15in TFT 彩色显示器，分辨率为 1024×768，带薄膜键键盘，有 8 个水平软键和 8 个垂直软键及 4 个控制键（F9、F10 和 Shift＋F9、Shift＋F10）；面板正面的防护等级 IP65，背面为 IP00；面板上有状态 LED 以监控电源和过温，正面带有 USB 接口以连接 1 个外部键盘或鼠标

OP010S、OP010C、OP012 和 OP015 等新一代操作面板而开发的模块，目前有 PCU20、PCU50 和 PCU70 等 PCU 模块。其中，PCU20（对应早期不带硬盘的 MMC100.2）不带硬盘而带软驱，装载嵌入式 HMI；PCU50 和 PCU70 对应于中早期的带硬盘的 MMC103，可带硬盘且装载高级 HMI。

③ MCP：是专门为数控机床配置的机床控制面板，它是 MPI 总线上的一个节点。根据应用场合不同，MCP 的布局也不同，目前有车床版 MCP 和铣床版 MCP 两种。MCP 在 MPI 总线（传输速率 187.5kbit/s）上的默认地址为 14，由 MCP 后面的 S3 开关设定。

3）PLC 的 I/O 模块：810D 系统的 PLC 软件为 SIMATIC S7－300，其 I/O 模块在同一条导轨上从左到右依次为电源模块（PS）、接口模块（IM）和信号模块（SM，见图 1-32）。其中，PS 为 PLC 和 NC 提供 DC＋24V 和 DC＋5V，IM 用于各级之间的互连，SM 用于机床 PLC 输入输出模块（有输入型和输出型 2 种）。另外，PLC 的 CPU 与 NC 的 CPU 一起被集成在 CCU 模块中。

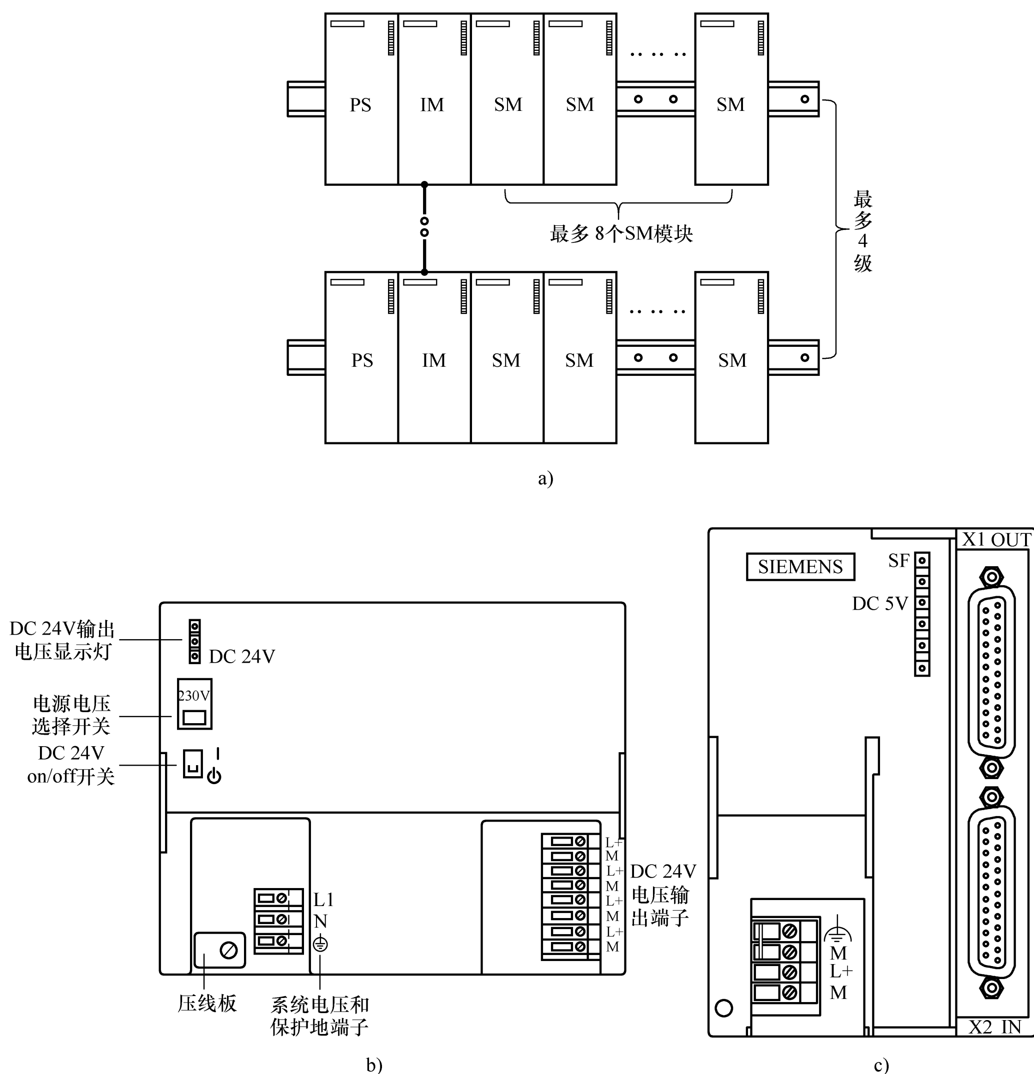


图 1-32　S7－300 各模块的连接示意图

a）S7－300 各模块布置图　b）S7－300 的电源模块　c）S7－300 的接口模块

4）伺服电缆（见图 1-33）：除电动机编码器的信号电缆和电动机的动力电缆外，还有 OP 单元至机床控制面板和 CCU 模块的 MPI 总线电缆，手持单元至 CCU 模块的 MPI 总线电缆，PG 至

CCU 模块的 MPI 总线电缆等。810D 系统各操作部件的 MPI 总线连接，如图 1-34 所示（连接时注意终端电阻 R 的位置）。

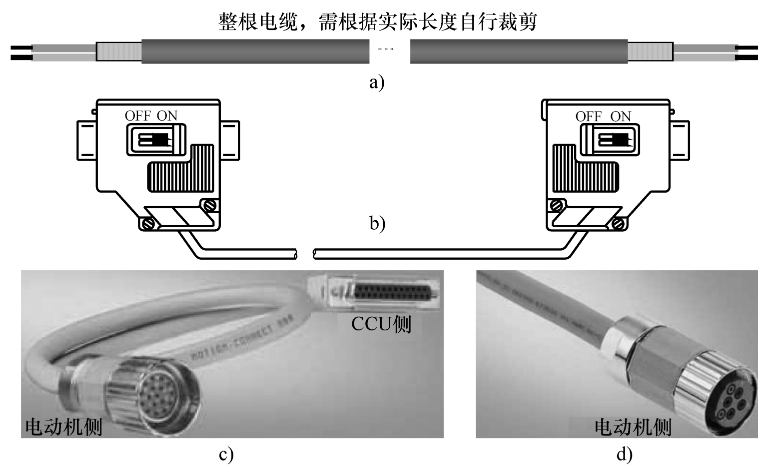


图 1-33　SINUMERIK 810D 的伺服电缆

a）Profibus 总线电缆　b）MPI 总线电缆　c）电动机编码器的信号电缆　d）电动机的动力电缆

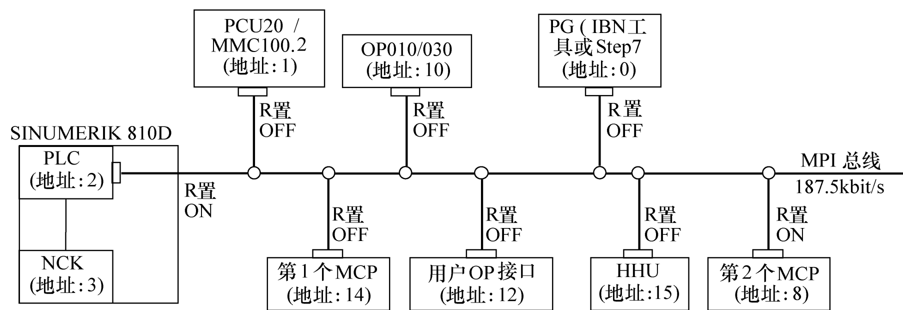


图 1-34　SINUMERIK 810D 各操作部件的 MPI 总线连接

（2）软件组成　因 810D 是 840D 的简易机型，故除了 CCU 模块与 840D 的 NCU 模块不同外，其他大部分硬件和软件均与 840D 兼容。810D 系统的软件有 4 类：HMI 软件系统、NC 软件系统、PLC 软件系统、通信及驱动接口软件系统。这 4 类软件及其相关数据分别存储在几个不同的位置，如 PCU（中早期为 MMC）硬盘和 NCK 的 RAM、EPROM、PCMCIA 卡中；并通过网络和双口 RAM（DPR）进行通信和协作，以充分发挥 810D 系统的强大功能。810D 的数据结构如图 1-35 所示。

1）HMI 软件系统：不带硬盘的 PCU20（中早期为 MMC100.2）的 FEPROM 中存储有基本输入输出系统（BIOS）、MSDOS 内核操作系统、Windows 操作系统，以及串口、鼠标和键盘接口、网络接口等驱动程序，支持 SINUMERIK 与外界 PCU/MMC－CPU、PLC－CPU、NC－CPU 之间的相互通信和任务协调。

2）NC 软件系统：NCK 初始引导软件被固化在 NCK 的 EPROM 中，包括机床数据（Machine Data）、标准循环子系统（为提高系统的使用效能而开发的车削、铣削、钻削和镗削等功能软件）和安全集成程序等在内的 NCK 数字控制软件被存储在 NCK 的 SRAM 中。SRAM 上的机床数据等可通过 PCU/MMC 上的 LOAD 和 UNLOAD 操作命令，在 PCU/MMC 的硬盘和 NCK 的 SRAM

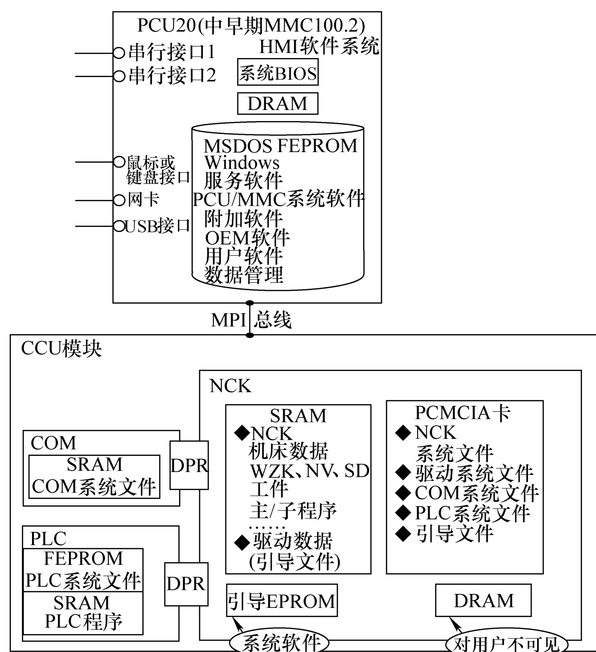


图 1-35 SINUMERIK 810D 的数据结构

之间进行交换，该过程称为数据的剪切。即这些数据只能同时存储在一个地方，有些文件暂不需要时可保存在硬盘上，而需要运行的文件可加载至 NCK 的 SRAM 中。

另外，在 CCU 模块上有一个 PCMCIA 插槽，用于安装 PCMCIA 个人计算机存储卡，该卡内预装有 NCK 系统文件、PLC 系统文件和驱动通信文件等。

3）PLC 软件系统：包括 PLC 系统支持软件和 PLC 程序，它们分别存储在 CCU 模块分配给 PLC 使用的 FEPROM 和 SRAM 中。PLC 系统支持 810D 内置可编程逻辑控制器的正常工作，该支持程序被固化在 CCU 的 FEPROM 中。PLC 程序包含基本 PLC 程序和用户 PLC 程序两部分。

4）通信及驱动接口软件系统：它主要用于协调 PCU/MMC－CPU、PLC－CPU 和 NC－CPU 三者之间的通信。

1.5.2 SINUMERIK 810D power line 的功能连接

（1）CCU3 模块的接口 如图 1-36 所示。

1）X411～X416：系统的 6 路位置反馈接口，这些测量位置既可直接获得，也可间接获取，属于 25 芯针式插座。所谓直接获得，就是位置信号来源于滚珠丝杠端部光栅尺（即第 2 测量系统）的位置反馈，此时系统为全闭环控制方式。所谓间接获得就是位置反馈信号由角位移检测装置（即第 1 测量系统）获取的滚珠丝杠转角提供，此时系统为半闭环控制方式。同时为了保证位置反馈信号的稳定性，需要控制反馈电缆的长度。编码器型号为 EQN1325 和 ERN1387 时，反馈电缆的长度分别不超过 18m 和 25m，不采用西门子公司的编码器时反馈电缆长度不超过 18m。X411～X416 接口的引脚分配及信号内容见表 1-16。

X411 的信号来自于 A1 电动机上光电编码器的位置反馈（第 1 测量系统），该接口为第 1 测量系统，主要用于进给轴或主轴的半闭环位置反馈。通常，A1 电动机内部装有热敏电阻（常温下正常阻值为 580Ω），并通过 X411 的 Pin13 和 Pin25 输入。当电动机内部温度超过 155℃时，该热敏电阻的阻值将大于 1200Ω，这时控制板切断电动机电源并产生电动机过热报警。

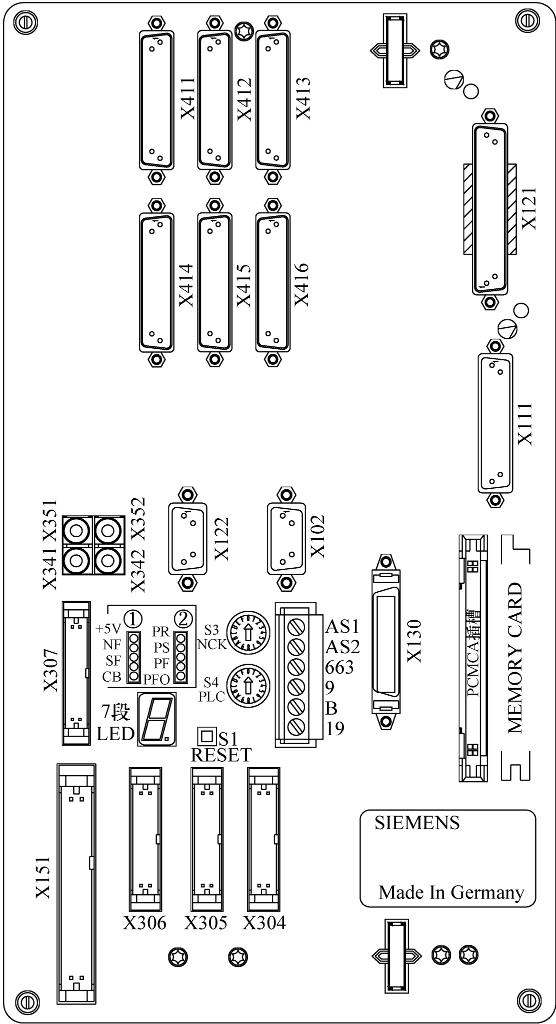


图 1-36　SINUMERIK 810D CCU3 模块接口

表 1-16　X411 ~ X416 接口的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	类型	引脚	对应信号	信号内容	类型
1	PENC1/2	编码器电源（PENC1 为 X411 ~ X413，PENC2 为 X414 ~ X416）	VO	14	PENC1/2	编码器电源（PENC1 为 X411 ~ X413，PENC2 为 X414 ~ X416）	VO
2	M（GND）	信号地	V	15	ENCDATi	BMI 数据信号	B
3	APi	A 相增量信号	I	16	M（GND）	信号地	V
4	ANi	A 相增量信号（取反）	I	17	RPi	R 相增量信号	I
5	M（GND）	信号地	V	18	RNi	R 相增量信号（取反）	I
6	BPi	B 相增量信号	I	19	CPi	C 相增量信号	I
7	BNi	B 相增量信号（取反）	I	20	CNi	C 相增量信号（取反）	I
8	M（GND）	信号地	V	21	DPi	D 相增量信号	I
9	未分配		—	22	DNi	D 相增量信号（取反）	I
10	ENCCLK	BMI 时钟信号	O	23	XENCDATi	BMI 数据信号	B
11	未分配		—	24	M（GND）	信号地	V
12	XENCCLK	BMI 时钟信号	O	25	THMOTCOM	电动机温度监控热敏电阻	I
13	THMOTi	电动机温度监控热敏电阻	I				

注：i = 1，2，3，4，5 或 6；B 为双向信号，O 为输出信号，VO 为电压输出信号，I 为输入信号。

X412 和 X413 接口仅用于进给轴的位置反馈，分别对应 A2、A3 电动机的位置检测装置。X414、X415 和 X416 接口用于扩展轴的位置反馈或其他用途，并分别与 X304、X305 和 X306 相对应。与这 6 个接口对应的轴专用机床数据见表 1-17，更改这些数据可实现系统半闭环和全闭环控制方式的切换。

表 1-17 与 CCU3 位置反馈接口对应的轴专用机床数据（部分）

序号	机床数据号	机床数据标识	设定值	说明
1	MD30200	NUM_ENCS	1	该轴配置 1 个编码器（测量系统），属半闭环控制
			2	该轴配置 2 个编码器（测量系统），属全闭环控制
2	MD30230	ENC_INPUT_NR[n]	1	编码器接在 CCU3 的第 1 个接口上（电动机测量口）
			2	直线光栅尺接在 CCU3 的第 2 个口上（外部测量口）
3	MD30240	ENC_TYPE[n]	0	实际位置反馈值的类型为模拟型
			1	实际位置反馈值的类型为高分辨率的原信号发生器
			2	实际位置反馈值的编码器类型为标准的方波编码器（脉冲 1 式 4 份）
			3	实际位置反馈值的类型为步进电动机编码器
			4	实际位置反馈值的类型为带 EnDat 接口的绝对编码器
			5	实际位置反馈值的类型为带 SSI 接口的绝对编码器（FM－NC）
4	MD31000	ENC_IS_LINEAR[n]	0	该轴的测量元件不是直线光栅尺
			1	该轴的测量元件为直线光栅尺
5	MD31010	ENC_GRID_POINT_DIST[n]	最小值 0.01	直线光栅尺的栅距，对电动机测量系统（第 1 测量系统）无意义
6	MD31020	ENC_RESOL[O]	最小值 2048	电动机编码器的线数/分辨率，对外部测量系统（第 2 测量系统）无意义
7	MD31040	ENC_IS_DIRECT[O]	0	编码器未直接安装在机床上
			1	编码器直接安装在机床上，属直连方式

2）X304、X305 和 X306：轴扩展连接，属于 20 芯带状插头，用于连接轴扩展单元，并分别与测量系统接口 X414、X415 和 X416 相对应。另外，20 芯带状插头 X307 为第 3 轴的脉冲接口，也用于轴扩展连接。

3）X351、X352 和 X341：分别对应 DAC1、DAC2 和 DAC3，是 810D 系统的 3 路 D/A 信号输出测试接口（均为 0～5V），具体物理量由系统的 HMI 软件选择。X342 为信号地。

4）X431：为 CCU 模块的终端块（6 个端子），其中端子 663 为所有驱动器的脉冲使能终端，并与端子 9（EN＋为脉冲使能电压＋24V）连接。若 663 与 9 的连接断开，则 CCU3 的脉冲使能失效，此时电动机制动器被释放。端子 19 为脉冲使能电压的参考地（EN－）。端子 AS1 和 AS2 是 CCU3 模块的启动抑制端子（属安全集成功能），两端子间被串接了受脉冲使能信号 663 控制的 CCU3 启动抑制安全继电器的常闭触点，当 CCU3 正常启动后该常闭触点打开（见图 1-37）。端子 B（BERO）为外部零点标记的输入点。

5）X121：I/O 设备接口，属于 37 芯 D－Sub 插头，经由电缆分配盒连接电子手轮或手持单元 HHU 及测量装置等，电缆长度不得超过 25m。X121 接口的引脚分配及信号内容见表 1-18。为

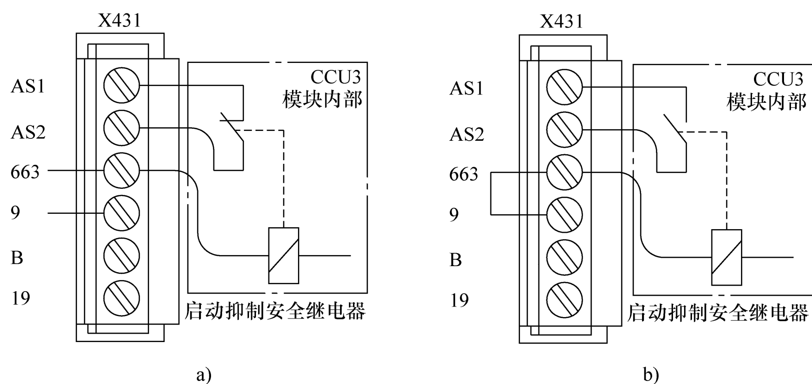


图 1-37　AS1 – AS2 启动抑制信号动作示意图
a）脉冲未使能，IGBT 开关被抑制　b）脉冲使能，IGBT 开关使能

方便读者理解 X121 接口的使用，在此给出 MK1350 × 3000 型数控外圆磨床（810D 系统）的手轮连接示例，如图 1-38 所示。

表 1-18　X121 接口的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	类型	引脚	对应信号	信号内容	类型
1，2	M24_EXT	用于 NC 二进制的外部 24V 输入	VI	18	MPG0_＊B	手轮 0 的 B 相取反信号输入	I
3	OUTPUT_1	NC 二进制输出 1	O	19	未分配		—
4	OUTPUT_0	NC 二进制输出 0	O	20，21	P24_EXT	用于 NC 二进制的外部 24V 输入	VI
5	INPUT_3	NC 二进制输入 3	I	22	OUTPUT_3	NC 二进制输出 3	O
6	INPUT_2	NC 二进制输入 2	I	23	OUTPUT_2	NC 二进制输出 2	O
7	INPUT_1	NC 二进制输入 1	I	24～27	MEXT	外部地（NC 输入的参考地）	VI
8	INPUT_0	NC 二进制输入 0	I	28	MEPUS_1	测量脉冲信号 1	I
9	MEPUS_0	测量脉冲信号 0	I	29	MEPUC_1	测量脉冲共地（参考地）1	I
10	MEPUC_0	测量脉冲共地（参考地）0	I	30	MPG1_A	手轮 1 的 A 相信号输入	I
11	MPG1_＊A	手轮 1 的 A 相取反信号输入	I	31，32	M（GND）	DC0V	VO
12，13	PENC1	手轮 1 的 5V 输出且每个手轮最大 500mA	VO	33	MPG1_B	手轮 1 的 B 相信号输入	I
14	MPG1_＊B	手轮 1 的 B 相取反信号输入	I	34	MPG0_A	手轮 0 的 A 相信号输入	I
15	MPG0_＊A	手轮 0 的 A 相取反信号输入	I	35，36	M（GND）	DC0V	VO
16，17	PENC0	P5 电子手轮 0 的 DC5V	VO	37	MPG0_B	手轮 0 的 B 相信号输入	I

注：O 为输出信号，I 为输入信号；VO 为电压输出信号，VI 为电压输入信号。

6）X111：为 PLC I/O 设备连接（P 总线）接口，属于 25 芯 D – Sub 插头，用于连接 S7 – 300 PLC 的接口模块 IM361 或紧凑型外设模块，电缆最长不超过 10m。X111 接口的引脚分配及信号内容见表 1-19。



用格雷码进行手轮轴选择开关的编码				
插头X1			开关位置	功能
引脚8	引脚9	引脚10		
0	0	0		Mini HHU未连接
1	1	0	0	未选择轴
0	1	0	*Z*	选择*Z*轴
0	1	1	*X*	选择*X*轴
1	1	1	*Y*	选择*Y*轴
1	0	1	4	选择第4轴
0	0	1	5	选择第5轴

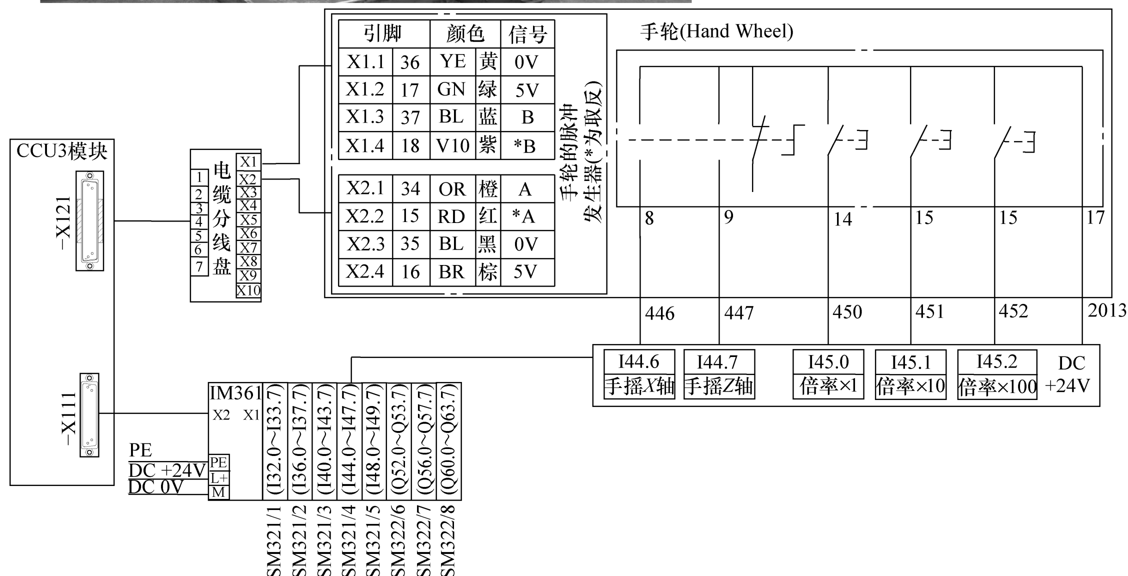


图 1-38　MK1350×3000 型数控外圆磨床（810D 系统）的手轮连接示意图

表 1-19　X111 接口的引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	类型	引脚	对应信号	信号内容	类型
1	RS_ALARM_N	P 总线数	I	14	RS_ALARM	P 总线数	I
2	IM_ADR0_N		O	15	IM_ADR0		O
3	IM_ADR1_N		O	16	IM_ADR1		O
4	IM_ADR2_N		O	17	IM_ADR2		O
5	M（GND）		VO	18	K<2>		O
6	KBUS_B_N	P 总线数据	B	19	KBUS_B	P 总线数据	B
7	RS_OD_N		O	20	RS OD		O
8	RS_DIDO_N		B	21	RS_DIDO		B
9	RS_CLK_N	P 总线循环	O	22	RS_CLK	P 总线循环	O
10	RS_COM_N	P 总线命令	O	23	RS_COM	P 总线命令	O
11	RS_LAT_N	P 总线准备信号	O	24	RS_LAT	P 总线准备信号	O
12	RS_READY_N		O	25	RS_READY		I
13	未分配		—				

注：B 为双向信号，O 为输出信号，VO 为电压输出信号，I 为输入信号。

7）X102：Profibus－DP 接口，属于 9 芯 D－Sub 插头，用于 Profibus 联网或多台 CNC 的通信，其传输速率为1.5Mbit/s，且电缆最长不超过200m。X102 接口的9 个引脚中 Pin1 空置，Pin2 和 Pin7 分别为24V 电源的 M24ext 和 P24ext，且仅在 X121 接口处有 DC24V 时使用，Pin3 和 Pin8 分别为差分 RS485 数据传输的 RS_ProfibusDP 和＊RS_ProfibusDP，Pin4 和 Pin9 分别为请求发送的

输出信号 RTSAS_ProfibusDP 和输入信号 RTSPG_ProfibusDP，Pin5 为信号地 DGND，Pin6（VP）为 +5V 电源输出。

8）X122：MPI 接口，属于 9 芯 D－Sub 插座，以 MPI 总线（传输速率 187.5kbit/s）形式连接 PCU20/PCU50（中早期的 MMC100/101/102）、机床控制面板和编程器等设备，MPI 总线长度不超过 50m。该接口的 9 个引脚中 Pin1 空置，Pin2 和 Pin7 分别为 24V 电源的 M24ext 和 P24ext，Pin3 和 Pin8 分别为差分 RS485 数据传输的 RS_MPI 和 * RS_MPI，Pin4 和 Pin9 分别为请求发送的输出信号 RTSAS_MPI 和输入信号 RTSPG_MPI，Pin5 为信号地 DGND，Pin6 为 +5V 电源输出的 P5ext。

9）X130：SIMODRIVE 611D 接口和 I/O 扩展（数字化），属于 36 芯的微带型（microribbon）插头。

10）X151：设备总线接口（电源供应），属于 34 芯带状电缆插头。

11）7 段 LED 和错误状态指示灯（见表 1-20）：CCU3 模块上有一个 7 段 LED，用于系统软件背景的输出测试和信号诊断，当 810D 系统启动完成后该 LED 显示“6”。除此之外，CCU3 模块上还有 2 列指示灯，左列显示灯①显示 NCK 状态信息，右列显示灯②显示内装 PLC 状态信息。维修人员可据状态灯信息判定 NCK 和 PLC 的运行状态。

12）复位按钮 S1：按下 S1 将引起一个硬件复位，此时控制系统和驱动器被复位并重新引导启动。

13）旋转开关 S3 和 S4：分别为 NCK 启动开关和 PLC 模式选择开关，见表 1-20。

表 1-20　CCU3 模块上控制和显示元素

元素	类型	含　义
S1	复位按钮	引起一个硬件复位，以控制系统和驱动复位后重新引导启动
S3	旋转开关（NCK 启动开关）	位置 0：NCK 正常运行
		位置 1：NCK 总清
		位置 2：NCK 从内存卡进行软件升级
		位置 3～7：预留
S4	旋转开关（PLC 模式选择开关）	位置 0：PLC－运行（PLC 处于运行状态，此时仅能监控 PLC 程序，但不能修改和下载 PLC 程序）
		位置 1：PLC－运行－P（PLC 处于运行编程状态，此时既可监控 PLC 程序，也可修改和下载 PLC 程序）
		位置 2：PLC 停止
		位置 3：模块复位
左列显示灯①（NCK 状态信息）	绿灯	+5V：电源电压在容差范围内时，此灯点亮
	红灯	NF：NCK 或 PLC 启动过程中的监控被触发时，点亮此灯
	红灯	SF：驱动故障时，此灯点亮；系统启动无误后此灯熄灭
	黄灯	CB：当数据经由 MPI 传输时，此灯点亮
右列显示灯②（内装 PLC 状态信息）	绿灯	PR：PLC－运行状态
	红灯	PS：PLC－停止状态
	红灯	PF：PLC 出现故障
	黄灯	PFO：PLC 处于强制状态
	黄灯	—：无作用（S1 复位期间短暂点亮）
H3	7 段 LED	系统软件背景的输出测试和信号诊断

注：S3、S4 均设为 0 时，可开机启动。大约几十秒后 CCU 模块上的 7 段 LED 显示 6 时，表明 CCU 模块上电正常。此时显示灯①中的 +5V 和 SF 灯点亮，以表示 810D 系统正常且驱动尚未使能。当显示灯②当中的 PR 灯点亮时，S7－300PLC 运行正常。

（2）操作部件（PCU、OP 和 MCP 等）与 CCU 模块的连接　根据用户的需求和机床性能要

求，SINUMERIK 810D 系统可选择配置 PCU20（对应早期不带硬盘的 MMC100.2）或 PCU50/PCU70（对应中早期带硬盘的 MMC103 系列）等模块，并与 OP010、OP010S、OP010C、OP012 或 OP015（中早期为 OP030、OP031 或 OP032）等操作面板一起组合使用。其中，PCU 为一台带 MPI 等接口的计算机，OP 单元为该计算机的显示器。下面以 MK1350×3000 型数控外圆磨床为例，介绍 PCU 模块、OP 单元和机床控制面板与 CCU 模块的连接。

MK1350×3000 型数控外圆磨床选用 SINUMERIK 810D 系统，并配置 CCU3 模块（6FC5450－6AY03－5AH0）、PCU20 模块和操作面板 OP010 及机床控制面板等，主要用于轴类零件的外圆及其小轴肩的磨削加工（如铁路货车用 RE_{2B}型车轴的轮座，见图 1-39）。该磨床采用直进切入磨削方式，使用柱状金刚笔（即被修磨成一定几何形状的单颗粒天然金刚石）在数控系统修整程序的指令下，控制伺服轴 *X*、*Z* 联动而完成砂轮廓形的修整。同时采用 Marposs P7 在线径向测量仪随时监控被磨削轴类工件的外圆直径尺寸，由配置了 M18－4 INTERFACE BOARD 的硬线连接 RENISHAW LP2 感应式测头进行被磨削轴类工件的定位（*Z* 向）测量。

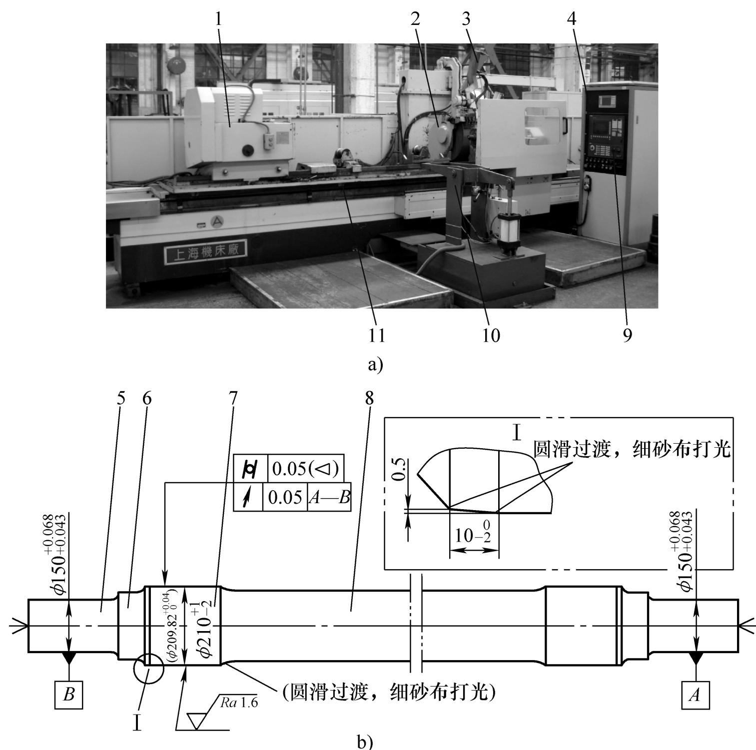


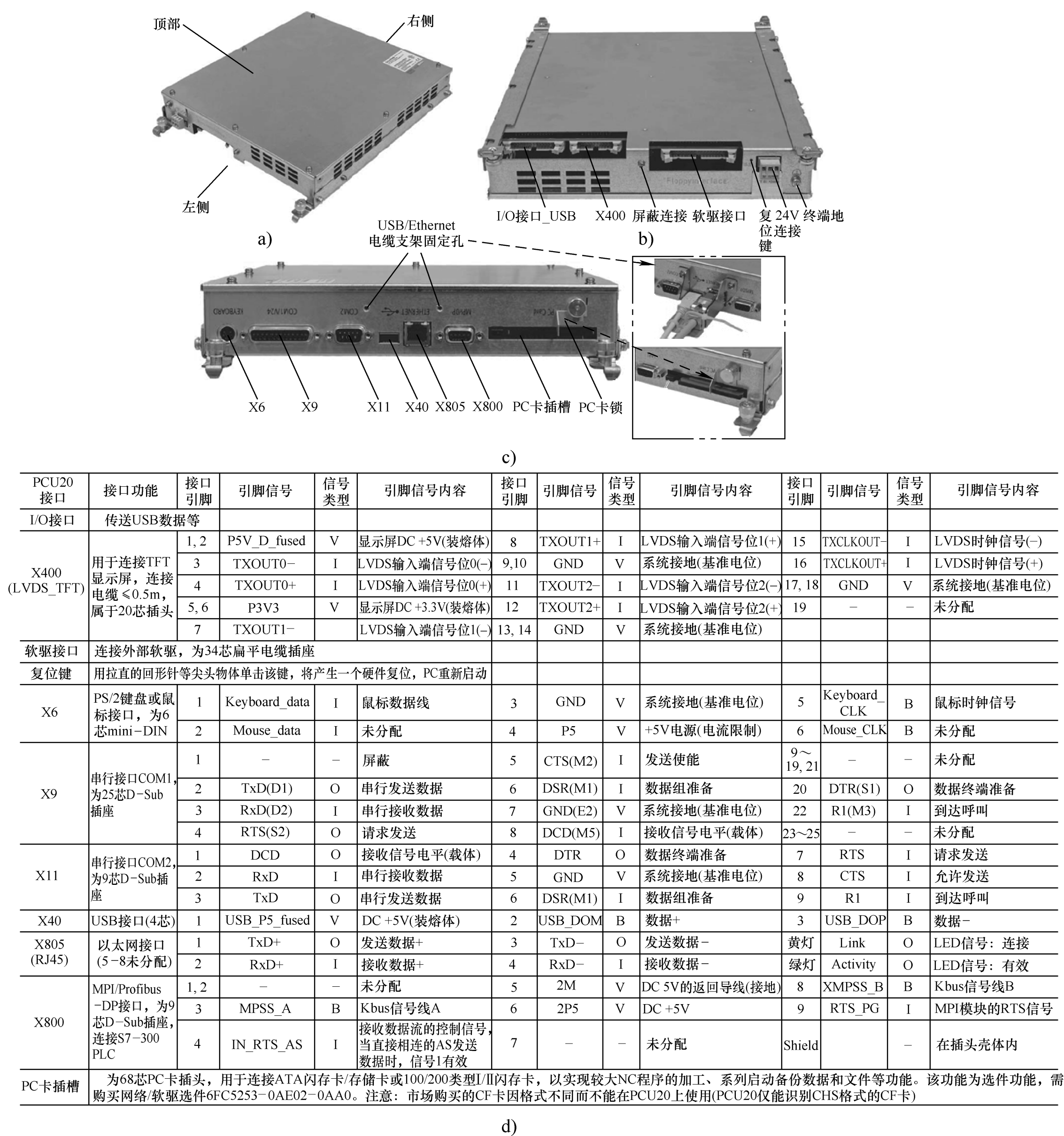
图 1-39 MK1350×3000 型数控外圆磨床及其被磨削工件

a）磨床组成结构 b）RE_{2B}型车轴

1—头架 2—砂轮架 3—Marposs P7 径向测量仪 4—PCU20 和 OP010 5—车轴轴颈 6—车轴防尘板座 7—车轴轮座 8—车轴轴身 9—机床控制面板 10—车轴调头机械手 11—*Z* 向工作台

1）PCU20 的接口布置及其各接口的引脚说明如图 1-40 所示。

2）操作面板 OP010 的接口布置（见图 1-41）。MK1350×3000 型数控外圆磨床所配置的操作面板 OP010 是西门子早期产品 OP031 的升级替代品，安装规格为 19in，安装断面（宽×高）为 450mm×290mm，具有分辨率为 640×480 像素点（VGA）的 10.4in TFT 彩色显示器。OP010 的薄膜键盘上有字母键、数字键、光标键、控制键和热键等键组合区，并有 1 排 8＋4 的水平软键和 1 列 8 个的垂直软键。OP010 正面的防护等级为 IP65，背面为 IP00。



PCU20接口	接口功能	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容
I/O接口	传送USB数据等												
X400 (LVDS_TFT)	用于连接TFT显示屏，连接电缆≤0.5m，属于20芯插头	1, 2	P5V_D_fused	V	显示屏DC +5V(装熔体)	8	TXOUT1+	I	LVDS输入端信号位1(+)	15	TXCLKOUT−	I	LVDS时钟信号(−)
		3	TXOUT0−	I	LVDS输入端信号位0(−)	9,10	GND	V	系统接地(基准电位)	16	TXCLKOUT+	I	LVDS时钟信号(+)
		4	TXOUT0+	I	LVDS输入端信号位0(+)	11	TXOUT2−	I	LVDS输入端信号位2(−)	17, 18	GND	V	系统接地(基准电位)
		5, 6	P3V3	V	显示屏DC +3.3V(装熔体)	12	TXOUT2+	I	LVDS输入端信号位2(+)	19	−	−	未分配
		7	TXOUT1−		LVDS输入端信号位1(−)	13, 14	GND	V	系统接地(基准电位)				
软驱接口	连接外部软驱，为34芯扁平电缆插座												
复位键	用拉直的回形针等尖头物体单击该键，将产生一个硬件复位，PC重新启动												
X6	PS/2键盘或鼠标接口，为6芯mini−DIN	1	Keyboard_data	I	鼠标数据线	3	GND	V	系统接地(基准电位)	5	Keyboard_CLK	B	鼠标时钟信号
		2	Mouse_data	I	未分配	4	P5	V	+5V电源(电流限制)	6	Mouse_CLK	B	未分配
X9	串行接口COM1，为25芯D−Sub插座	1	−	−	屏蔽	5	CTS(M2)	I	发送使能	9～19, 21	−	−	未分配
		2	TxD(D1)	O	串行发送数据	6	DSR(M1)	I	数据组准备	20	DTR(S1)	O	数据终端准备
		3	RxD(D2)	I	串行接收数据	7	GND(E2)	V	系统接地(基准电位)	22	R1(M3)	I	到达呼叫
		4	RTS(S2)	O	请求发送	8	DCD(M5)	I	接收信号电平(载体)	23～25	−	−	未分配
X11	串行接口COM2，为9芯D−Sub插座	1	DCD	O	接收信号电平(载体)	4	DTR	O	数据终端准备	7	RTS	I	请求发送
		2	RxD	I	串行接收数据	5	GND	V	系统接地(基准电位)	8	CTS	I	允许发送
		3	TxD	O	串行发送数据	6	DSR(M1)	I	数据组准备	9	R1	I	到达呼叫
X40	USB接口(4芯)	1	USB_P5_fused	V	DC +5V(装熔体)	2	USB_DOM	B	数据+	3	USB_DOP	B	数据−
X805 (RJ45)	以太网接口(5−8未分配)	1	TxD+	O	发送数据+	3	TxD−	O	发送数据−	黄灯	Link	O	LED信号：连接
		2	RxD+	I	接收数据+	4	RxD−	I	接收数据−	绿灯	Activity	O	LED信号：有效
X800	MPI/Profibus−DP接口，为9芯D−Sub插座，连接S7−300 PLC	1, 2	−	−	未分配	5	2M	V	DC 5V的返回导线(接地)	8	XMPSS_B	B	Kbus信号线B
		3	MPSS_A	B	Kbus信号线A	6	2P5	V	DC +5V	9	RTS_PG	I	MPI模块的RTS信号
		4	IN_RTS_AS	I	接收数据流的控制信号，当直接相连的AS发送数据时，信号1有效	7	−	−	未分配	Shield		−	在插头壳体内
PC卡插槽	为68芯PC卡插头，用于连接ATA闪存卡/存储卡或100/200类型I/II闪存卡，以实现较大NC程序的加工、系列启动备份数据和文件等功能。该功能为选件功能，需购买网络/软驱选件6FC5253−0AE02−0AA0。注意：市场购买的CF卡因格式不同而不能在PCU20上使用(PCU20仅能识别CHS格式的CF卡)												

d)

图 1-40　PCU20 的接口布置及各接口的引脚说明

a）实物图　b）箱体左侧接口　c）箱体右侧接口　d）各接口的引脚说明

3）机床控制面板的接口布置。机床控制面板的作用是按照给定的工作方式执行 NC 程序，并完成机床动作的控制，如急停控制、复位、程序控制、工作方式选择、机床功能、用户自定义功能和轴/主轴控制等。简单讲，MCP 就是操作者与 MK1350×3000 型数控外圆磨床沟通的媒介。根据应用场合不同，MCP 的布局也不同。目前有车床版 MCP 和铣床版 MCP 两种，其中 MK1350×3000 型数控外圆磨床选配车床版 MCP。当然，机床制造厂家也可自定义机床控制面板，以适合所生产的数控机床。但是不论哪种形式的 MCP，其原理大致相同（见图 1-42），且控制电路由微处理器、程序存储器、数据存储器、串行 I/O 控制器、监控电路、光电隔离电路和 DC－DC 转换电路，以及带隔离的 MPI（810D 系统）或 OPI（840D 系统）通信接口组成。

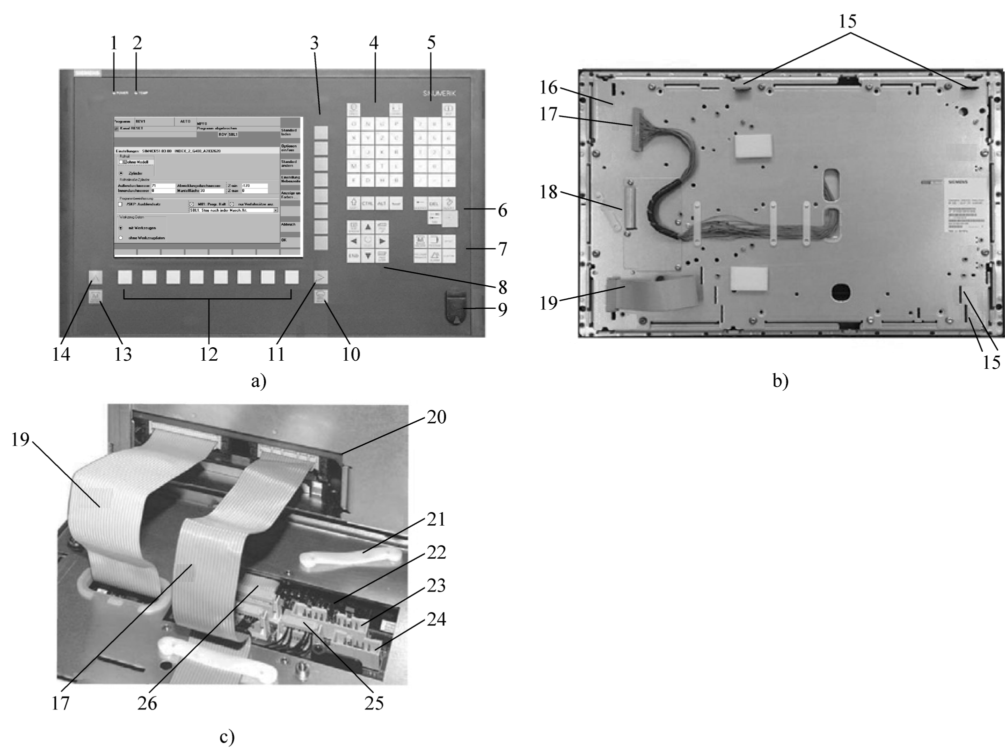


图 1-41 操作面板 OP010 的接口布置

a）正面图 b）背面图 c）与 CPU 的连接图

1—电源状态 LED 2—超温指示 LED 3—垂直软键（8 个） 4—字母键区 5—数字键区 6—控制键区 7—热键区 8—光标键区 9—USB 接口 10—区域转换键 11—ETC 键 12—水平软键（8 个） 13—加工区 14—返回键 15—软键标签插槽 16—显示屏衬托板 17—显示电缆 K2 18—键盘控制器连接盒盖板 19—扁平电缆 K1 20—PCU20 的左侧接口 21—电缆夹 22—键盘控制器 23—直接控制键接头 X11 24—备用接头 X12 25—背光灯接头 X14 26—扁平电缆 K1 接头 X1

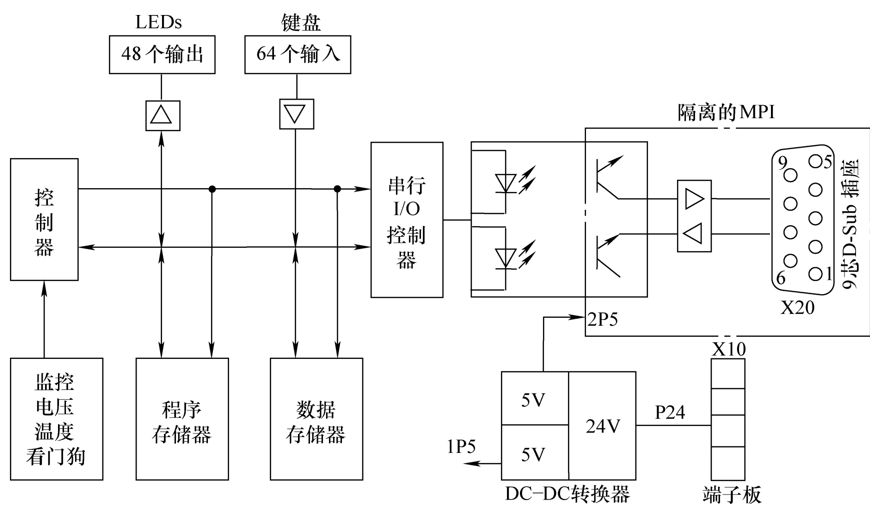
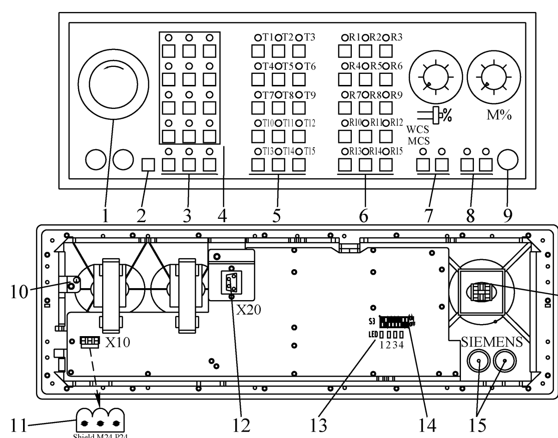


图 1-42 机床控制面板的原理框图

图 1-43 为 MK1350×3000 型数控外圆磨床机床控制面板 MCP 的接口分布，其中 MPI 接口 X20 的传输速率为 187.5kbit/s（840D 系统的 OPI 接口时为 1.5Mbit/s），8 位 DIP 开关 S3 设定



9芯D-Sub插座X20的引脚及信号说明

引脚	信号名称	信号内容	类型
1,2,7	未分配		
3	RS_OPI	差分RS485数据OPI	B
4	RTASA_OPI	请求发送PLC OPI	O
5	2M	隔离信号地	VO
6	2P5	隔离DC +5V	VO
8	XRS_OPI	差分RS485数据OPI	B
9	RTSPG_OPI	请求发送PG_OPI	I

类型说明：B为双向信号，O为输出信号，VO为电压输出信号，I为输入信号

MCP上DIP开关S3的设置及含义

8	7	6	5	4	3	2	1	含义
							ON	波特率：1.5Mbit/s
							OFF	波特率：187.5kbit/s
					OFF	ON		200ms传送循环时间/2400ms接收监控
					ON	OFF		100ms传送循环时间/1200ms接收监控
					OFF	OFF		50ms传送循环时间/600ms接收监控
	ON	ON	ON	ON				总线地址：15
	OFF	ON	ON	ON				总线地址：14
	ON	OFF	ON	ON				总线地址：13
	OFF	OFF	ON	ON				总线地址：12
	ON	ON	OFF	ON				总线地址：11
	OFF	ON	OFF	ON				总线地址：10
	ON	OFF	OFF	ON				总线地址：9
	OFF	OFF	OFF	ON				总线地址：8
	ON	ON	ON	OFF				总线地址：7
	OFF	ON	ON	OFF				总线地址：6
	ON	OFF	ON	OFF				总线地址：5
	OFF	OFF	ON	OFF				总线地址：4
	ON	ON	OFF	OFF				总线地址：3
	OFF	ON	OFF	OFF				总线地址：2
	ON	OFF	OFF	OFF				总线地址：1
	OFF	OFF	OFF	OFF				总线地址：0
ON								MPI接口，用户操作面板
OFF								串行硬件

图 1-43　MK1350×3000 型数控外圆磨床 MCP 接口分布

1—急停按键　2—复位按键　3—程序控制　4—运行方式、机床功能　5—用户按键（T1～T15）
6—带快速移动倍率（R1～R15）的方向键　7—主轴控制　8—进给控制　9—钥匙键（4 个位置）
10—用户接地端子　11—电源输入接口 X10（3 芯 Phoenix 直角端子板）　12—MCP 接口 X20（MPI）
13—监控 LEDs（s＝1，2，3，4，且由左至右）　14—DIP 开关 S3（8 芯）　15—额外的控制设备插槽（2 个）

MCP 在总线上的地址为 14。注意：MCP 上 S3 设置的信息必须与 S7－300 PLC 程序的设置一致，否则机床无法正常建立通信且 MCP 上所有按键指示灯点亮并闪烁。

另外，机床控制面板上有 4 个 LED 监控指示灯，用于监控 MCP 的运行状态，LED1（H1）为硬件检测，硬件错误时点亮呈红色；LED2（H2）为温度监控，温度超过 60℃ ±3℃时点亮呈红色；LED3（H3）为 24V 电压监控；LED4（H4）为通信协议传输状态监控，MCP 有数据通信时点亮呈黄色并闪烁。

（3）MK1350×3000 型数控外圆磨床的 810D 系统连接　如图 1-44 所示。

1.5.3　SINUMERIK 810D power line 系统报警及故障维修

1. 810D 系统的自诊断报警

（1）自诊断报警的分类　SINUMERIK 810D 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、Profibus 报警、PLC 报警和 HMI 报警及 611D 驱动报警五大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（见表 1-21）。

（2）系统报警　报警#1000、#1001、#1002、#1003、#1005、#1010、#1011、#1012、#1013、#1014、#1015、#1016、#1017、#1018 和#1019 及#1160 属于 NC 报警中的系统报警，用于反映 SINUMERIK 810D 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。SINUMERIK 810D 系统报警及处理方法请参见第 1.4.3 节的表 1-14。

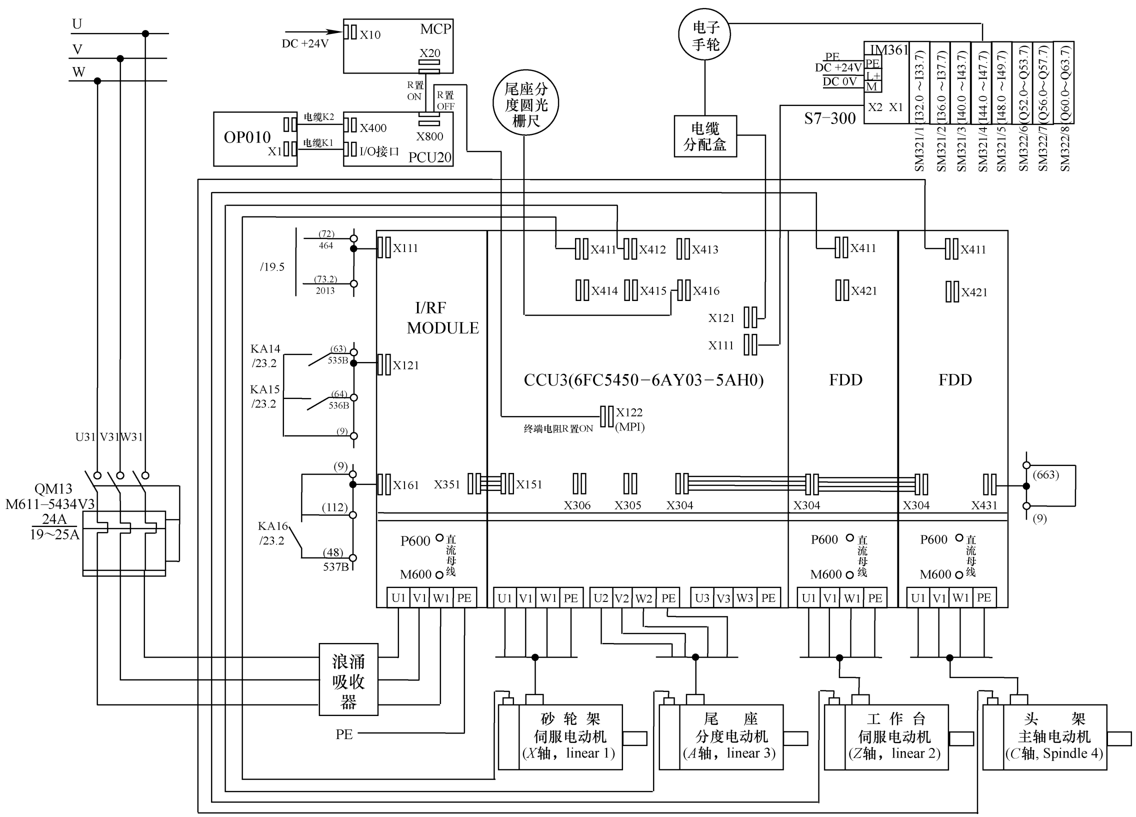


图 1-44 MK1350×3000 型数控外圆磨床的 810D 系统连接图

表 1-21 SINUMERIK 810D 系统自诊断报警的分类

序号	报警分类		报警号范围
1	NC 报警	一般报警	002 000～009 999
		通道报警	010 000～019 999
		坐标轴/主轴报警	020 000～029 999
		功能报警	030 000～099 999
		SIEMENS 循环报警	060 000～064 999
		用户循环报警	065 000～069 999
2	Profibus 报警		380 000～380 502
3	PLC 报警	一般报警	400 000～400 015
		通道报警	500 000～599 999
		轴/主轴报警	600 000～699 999
		用户范围	700 000～799 999
		定序器/图表	800 000～799 999
		从 PLC 发出的系统错误信息	(810 001～810 009)
4	611D 驱动报警		300 000～399 999
5	HMI 报警	HMI 主系统	100 000～100 999
		诊断	101 000～101 999
		维修	102 000～102 999
		机床	103 000～103 999
		参数	104 000～104 999
		编程	105 000～105 999
		存储	106 000～106 999
		OEM	107 000～107 999
		离散系统（M 至 N）	109 000～109 999
		内嵌 HMI 信息	110 000～110 999
		ManualTurn，ShopMill，ShopTurn	111 000～111 999
		高级 HMI 信息	120 000～120 999
		应用软件	129 900～129 999
		远程诊断，RCS Host/Viewer	142 000～142 099

2. CCU1 模块的故障维修实例

（1）CCU1 模块不良导致 CK6360 型卧式数控车床 NC 系统无法启动的故障分析

1）故障现象：机床运行过程中，忽然出现 *Z* 向、*X* 向的正超程和负超程报警，且机床操作面板上显示 I/O 信号不正确。

2）原因分析及处理方法：

① 根据伺服轴超程报警的提示，用万用表的欧姆挡检查行程开关信号的通断正常（见图 1-45），即压下行程开关时阻值为 0、释放行程开关时阻值为∞（无穷大）。

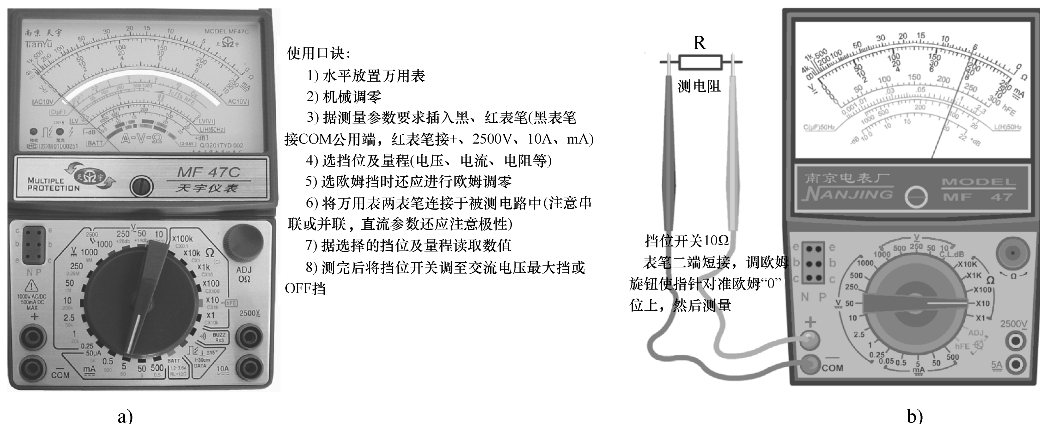


图 1-45　万用表检测行程开关的好坏

a）外形及口诀　b）测电阻

② 根据 OP 单元显示 I/O 信号不正常，检查发现输入输出板上 FAULT 红灯和 5V 绿灯同时点亮，而启动完成后，红灯灭、绿灯亮。通过交换法将两块相同的 I/O 板对调，判定 I/O 板的状态完好。交换法又称同类对调法，是在机床出现故障或不能确定控制板存在故障而又没有备件的情况下，将相同的两块控制板对调，以观察故障是否发生转移的一种数控机床维修方法。

③ 第 2 天机床的 NC 系统无法正常启动，OP 单元上仅显示"CONNECTION n S"一行字。此时电控柜内型号为 6FC5410－0AY01－0AA0 的 CCU1 模块（见图 1-46）上 SF 灯点亮呈红色（表示驱动有故障）、PS 灯点亮呈红色（表示 PLC－停止状态）及 PF 灯点亮呈红色（表示 810DE 内装 PLC 故障），还有 CCU1 模块上的 7 段 LED 显示 6（表示 CCU1 模块上电正常）。根据 CCU1 模块上错误状态灯的指示，初步判定 CCU1 模块故障而导致其与接口板间不能进行数据交换。

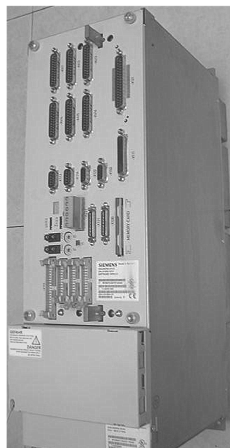


图 1-46　CCU1 模块实物

④ 进行 NCK 总清并回装数据，以排查 NC 软件方面的故障。具体步骤如下：

a. 利用一字形小螺钉旋具将 CCU1 模块上的 NCK 启动开关 S3 由 0 旋至 1，机床断电重启。如果 NC 处于启动过程中，则可按一下 CCU1 模块上的复位按钮 S1 以控制系统和驱动复位并重新引导启动。

b. 待 NC 启动成功后 CCU1 模块上的 7 段 LED 显示 6，将 NCK 启动开关 S3 由 1 置为 0。

c. 此时 NC 总清完成，NCK 的 SRAM 内数据被全部清除掉，所有机床数据（Machine Data）被预置为默认值。

d. 利用 PG 或 PCMCIA 卡进行 NCK 数据的回装，操作方法后续章节介绍。

e. NCK 数据回装后，机床的故障依旧。

⑤ 进行 PLC 总清并回装数据，以排查 PLC 软件方面的故障。具体步骤如下：

a. 利用一字形小螺钉旋具将 CCU1 模块上的 PLC 模式选择开关 S4 由 0 旋至 2（即 PLC 停止运行模式），此时右列状态显示灯中的 PS 灯点亮呈红色。将 S4 由 2 旋至 3（即 PLC 模块复位模式）并保持约 3s 直至 PS 灯先熄灭再点亮呈红色。在 3s 内用螺钉旋具快速操作 S4，依次为 2→3→2，此时 PS 灯先闪烁再点亮呈红色，PF 灯也点亮呈红色（有时 PF 灯不亮）。将 S4 由 2 旋至 0 位置直至 PS 和 PF 灯熄灭，而 PR 灯点亮呈绿色（表示内装 PLC 处于运行状态），此时 OP 单元上出现#2000 寿命监控标志 PLC 无效的报警。PLC 总清完成，机床控制面板 MCP 不停地闪烁，面板上的功能键操作无效。

b. PLC 总清完成后，利用 PG 或 PCMCIA 卡进行 PLC 数据的回装。

c. PLC 数据回装后，机床的故障依旧。

⑥ 用备用或其他机床上正使用的完好 CCU1 模块替换该故障机床的 CCU1 模块，并进行数据的回装操作（先回装 NCK 数据再回装 PLC 数据）后，机床恢复正常运行。由此说明该机床的 CCU1 模块损坏而导致故障发生。

（2）CCU1 模块不良导致 CK6360 型卧式数控车床黑屏的故障分析

1）故障现象：机床运行过程中，OP 单元突然黑屏，多次关机重启后能工作半天左右，然后直接黑屏，并显示“CONNECTION n S”一行字。

2）原因分析及处理方法：

① 常规思维会先考虑 OP 单元的液晶显示屏故障（如背光源的冷阴极荧光管不亮等），为了简化故障的排查过程，可通过手动控制机床伺服轴移动来辅助判定液晶显示屏的好坏。若伺服轴移动，则液晶显示屏状态完好的可能性很大；若伺服轴在满足正常机能情况下不能移动，则在很大程度上可排除液晶显示屏的故障。该机床的伺服轴在手动/JOG 模式下可以移动，故暂时排除液晶屏的故障。

② 打开机床的电控柜，检查发现型号为 6FC5410－0AY01－0AA0 的 CCU1 模块上 7 段 LED 显示为 8，与 CCU1 模块正常上电时所显示的 6 不符。根据以往的维修经验和“先简单后复杂”的维修原则，先排查软件方面故障的可能性。

③ 对机床进行 NCK 总清并回装数据后，机床的故障依旧。然后进行 PLC 总清并回装数据，机床仍处于黑屏状态且 CCU1 模块上的 7 段 LED 显示为 8。由此，初步怀疑 CCU1 模块的硬件存在故障。

④ 用备用或其他机床上正使用的完好 CCU1 模块替换该故障机床的 CCU1 模块，并进行数据的回装操作（先回装 NCK 数据再回装 PLC 数据）后，机床恢复正常运行。由此说明该机床的 CCU1 模块损坏而导致故障发生。注意：更换 CCU1 模块前，务必做好机床数据的系列备份和 CCU1 模块上连接电缆或数据线的标记，以免机床数据的丢失及电缆或数据线接错而导致机床故障的进一步扩大化。

3）液晶显示屏的结构组成、日常维护注意事项及 OP010 单元的更换。

在日常的维修过程中，若遇到液晶显示屏因自身故障而导致 OP 单元无法显示的情况时，维修人员需在掌握液晶显示屏结构组成的前提下，方可对其进行维修，否则应向西门子自动化与驱动集团或其他专业维修厂家寻求技术支持，以免扩大机床的故障范围（如仅仅是背光源的冷阴极荧光管不亮，由于维修人员的野蛮拆卸和错误维修而导致整个 OP 单元无法修复，甚至报废的情况时有发生）。下面简单介绍液晶显示屏的结构组成及日常维护注意事项，供读者参考。

① 液晶显示屏的结构组成。现代数控机床常用的液晶显示器多为透射型液晶显示器，且一般为单荧光管设计。液晶显示器的结构组成与显示原理如图 1-47 所示。

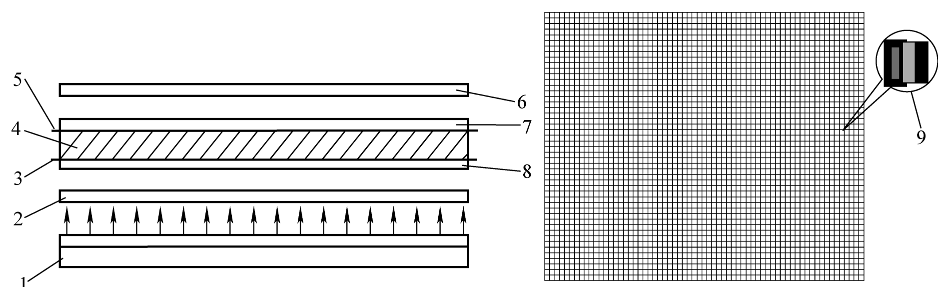


图 1-47　液晶显示器的结构组成与显示原理

1—电源组件（含背光源、反射板和导光板等）　2—前偏振片　3—镀膜背电极
4—液晶　5—镀膜段电极　6—后偏振片　7、8—玻璃基板　9—像素点

由背光源的冷阴极荧光管射出的光线，经反射板和导光板后被平铺展开，并射入前偏振片和玻璃基板，进而射入液晶材料。在薄膜晶体管驱动型液晶显示器（TFT LCD）中，利用薄膜技术制成的硅电晶体电极以扫描方式来控制任意一个显示点（称像素点，即由红色/Red、绿色/Green 和蓝色/Blue 三种颜色构成的小光点/Dot）的开启与关闭。当背光源的光线射到液晶时，液晶分子在外加电场的作用下，其分子排列方式将发生变化，相应的穿透液晶的光线角度随之发生变化。所以只要改变激励液晶的电压值，就可控制最后射出的光线强度，再经后偏振片和滤色片，就能在液晶显示屏上显示出不同深浅颜色的组合了。

数控机床的液晶显示器正常工作需要满足以下两个技术要点：

a. 将液晶灌入 2 片刻有相互垂直细槽的配向膜（玻璃基板上）之间，位于两平面之间的液晶分子被强迫进入 90°扭转的状态。由于光线顺着分子排列的方向传播，所以光线经过液晶时也被扭转 90°。但当液晶被施加一个电压时，分子便会被重新排列，光线便不能直射出去，而此时液晶分子不发生任何扭转。

b. 偏振片（极化滤光片）实际上是由一系列很细的平行线形成一张网，用来阻断不与这些细线平行的所有光线。图 1-48 中入射侧的前偏振片为水平的平行细线，后偏振片为垂直的平行细线。当入射光射入时，由于前偏振片为水平的平行细线，故入射光中的水平光线可通过并穿透液晶层，同时被液晶分子扭转 90°到达后偏振片。此时正好与后偏振片的细线竖线方向相一致，所以光线能穿透，这就是液晶未加电压时的情景。

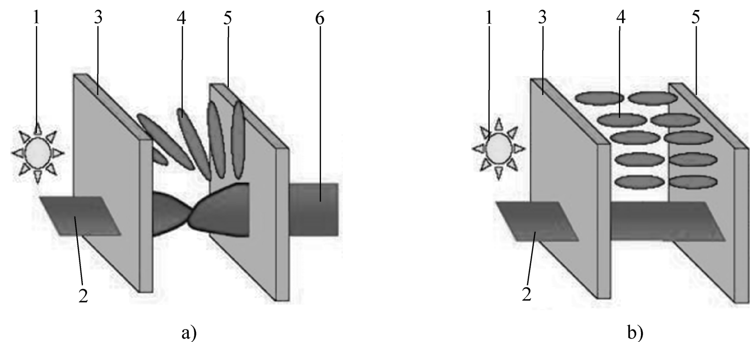


图 1-48　液晶工作示意图

a）不加电压时　b）外加电压时

1—背光源　2—水平入射光线　3、5—偏振片　4—液晶　6—扭转 90°的竖直光线

当液晶有外加电压（显示驱动电压和控制电压）时，液晶分子又会重新排列并完全平行，进而使光线不再扭转。当光线到达后偏振片时还是水平的平行光线，此时它就无法透过后偏振片

而被阻断。

由此得出结论，当透射型液晶有外加电压（显示驱动电压和控制电压）时，背光线被阻断，LCD 屏幕呈现黑屏。此时在背光源（如工作电压高达 AC 1kV 的冷阴极荧光管）的作用下，LCD 屏幕上将显现图像；当液晶无外加电压时，光线射出，LCD 屏幕呈现白屏。

② 液晶显示屏的日常维护注意事项。

a. LCD 怕进水：若一旦发生进水时，可将 LCD 放在温暖的地方或用热吹风机等设备对其烘烤，以期将 LCD 内的水分逐渐蒸发掉。当潮气较严重（会腐蚀液晶电极）且 LCD 经烘烤仍无法使用时，应委派专业人员对其拆卸或送专业维修厂家修理。

b. LCD 怕粗暴对待：在使用清洁剂进行清洁时，避免把清洁剂直接喷到屏幕上，否则清洁剂可能流入屏幕内而造成短路。LCD 的液晶晶体和灵敏电气元件等抗撞击能力非常小，因此不能用手指按压液晶屏或用尖锐物品在屏幕上比划，否则屏幕的玻璃面会出现破损、屏角碎裂或液晶模块损坏等故障。

c. LCD 怕野蛮拆卸：厚度不到 10mm 的 LCD 面板内不仅包含液晶盒这一关键部件（它是在 2 片玻璃基板间安装彩色滤光片、偏振片、配向膜和玻璃基板及液晶分子等材料后封装而成的一个模块），还有一根用做背光源的细长易碎冷阴极荧光灯管（见图 1-49），因此 LCD 野蛮拆卸可造成故障的扩大，甚至 LCD 报废。除此之外，LCD 在关机很长时间后内部依然会带有高达 AC1kV 的高电压，非专业人士对其拆卸时有可能会电击而发生伤亡事故。所以，当数控机床的液晶显示屏发生故障时，可利用备件置换法或同类对调法整体更换液晶显示器，以在最短时间内排除故障和尽快恢复机床运行，然后再委派专业人员对有故障的 LCD 进行拆卸或直接送专业维修厂家修理。

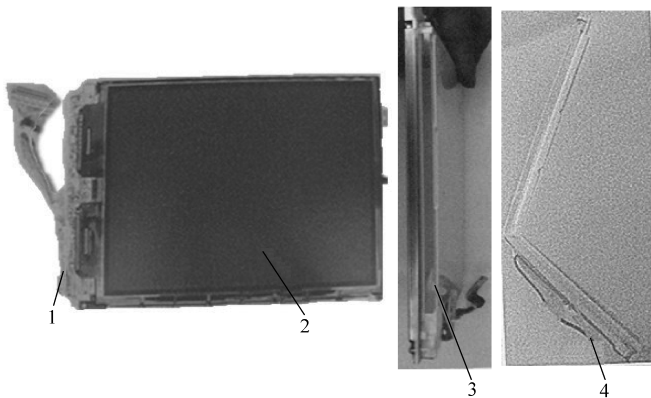


图 1-49 野蛮拆卸致背光管折断的示例

1—电路板 2—液晶显示器 3—玻璃板 4—冷阴极荧光灯管

③ OP010 单元的更换（见图 1-50）。

a. 把 OP010 放置在水平台面上，正面朝下，松开 12 个箱体螺钉。

b. 取出软键插槽标签和盖板。

c. 从键盘控制器板上拆开背光灯（基座 X14）和扁平电缆 K1 的插头。

d. 取下显示屏支架和液晶显示屏，此时键盘控制器、鼠标和 USB 接口的背面呈可见状态。当仅更换液晶显示屏时，操作至此即可按照相反的顺序装配好 OP010 单元即可。

e. 扳回 2 个夹紧钩，拔出 USB 接口。

f. 从插座 X7、X8 和 X10 松开键盘的 3 个薄膜插头（向上压使插座上的黑色夹紧框松开，直至到达上部未卡住位置，然后小心地向上拔出薄膜插头）。

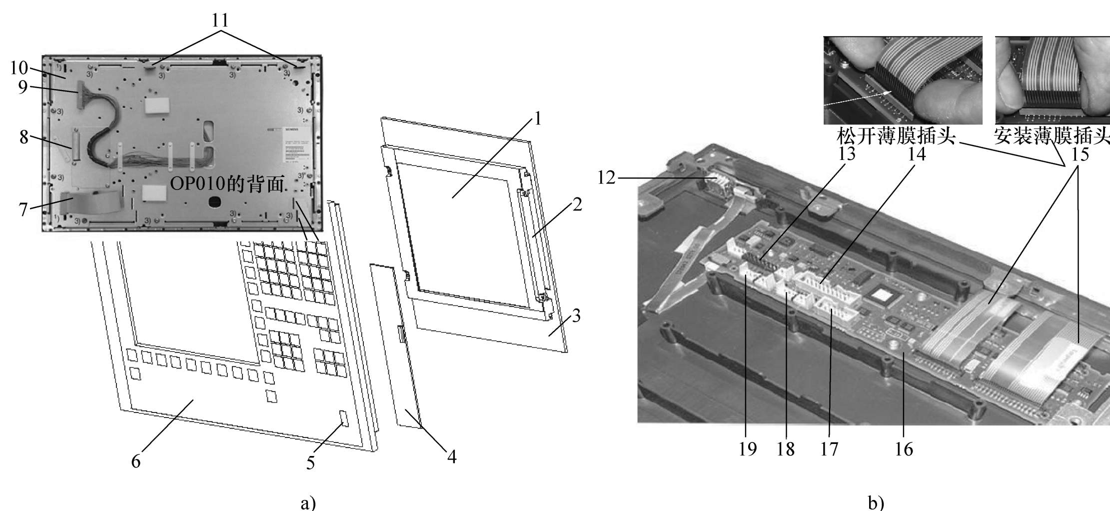


图 1-50　OP010 单元的结构示意及操作面板的更换

a）OP010 单元的结构示意　b）OP010 操作面板的更换

1—液晶显示屏 LCD　2—带逆变器的背光灯　3—显示屏支架　4—键盘控制器　5—USB 口的密封盖　6—操作面板　7—扁平电缆 K1　8—连接盒盖板　9—显示电缆 K2　10—显示屏衬托板　11—软键标签插槽　12—USB 接口　13—电缆 K1 接头 X1　14—接头 X11　15—薄膜插头（连接键盘）　16—键盘控制器接口　17—备用接头 X12　18—背光灯接头 X14　19—鼠标接头 X4

g. 松开键盘控制器上的紧固螺钉，从面板上取下 USB 接口和键盘控制器（它们之间可能仍保持连接状态）。

h. 按照与上述相反的顺序，依次回装部件至新的操作面板上。注意：当重新安装 USB 和键盘控制器的薄膜插头时，应先将夹紧框悬空后小心地把插头插入对应插座中，然后压下夹紧框直至锁定到位。

i. 将已制作好的薄膜标签（用激光打印机打印薄膜的毛糙面一侧）从 OP010 单元的后面沿着槽口插入即可。

3. CCU1 模块升级为 CCU3.4 模块

SINUMERIK 810D 系统中的 CCU1 模块属于西门子公司较早的产品，目前已停止生产；但市场上仍有一定数量的在用数控机床使用配置了 CCU1 模块的 810D 系统，由于 CCU1 模块的故障率较高而导致其故障后很难有同型号的硬件与之对换。为了恢复这种类型数控机床的运转和降低机床使用厂家的损失，西门子公司给出了较为经济实用的方案——将原 CCU1 模块升级为 CCU3.4 模块，从而避免了唯有对这种类型故障机床进行电气改造（更换数控系统和伺服驱动装置等）方能恢复使用的窘境。

型号为 6FC5410－0AY01－0AA1 的 CCU1 模块升级为 6FC5410－0AY03－1AA0 的 CCU3.4 模块时，不仅要更换 CCU 模块，还须确认 NCK 数据和更改 PLC 程序等。操作方法如下：

1）对 NCK 中各个区域的数据进行分区备份，以用于回装不同 SW 版本的 SINUMERIK 系统。分区备份时，文件名最好使用系统默认的文件名并附加上日期。对于 PCU50/PCU70（中早期为 MMC103），可将数据分区备份至硬盘或 PCMCIA 卡（PC 卡或 NC 卡）上。对于不带硬盘的 PCU20（早期为 MMC100.2），可将数据分区备份至 PCMCIA 卡（HMI 软件的版本为 5.0 以上时）或通过 RS232 接口利用 V24 电缆（6FX2002－1AA01－0BF0）和 PCIN 数据传输软件备份至外部 PC 上。注意：仅可使用数据的分区备份，而不能使用数据的系列备份。有关分区备份与系列备份的区别，参见表 5-20。

2）利用西门子公司提供的 Toolbox 工具盘中的 SIMATIC 管理器下载 PLC 程序。

3）将 CCU1 模块更换为 CCU3.4 模块。

4）将分区备份的 NCK 数据进行逐项回传。

5）由于 CCU1 模块与 CCU3.4 模块的 Toolbox 不同，新模块的 CPU 不再支持以前的 FB/FC 标准块，所以 PLC 必须重新编程。

① 建立新的 S7 程序，复制 Toolbox 下的标准数据到该程序下并重启 PLC。注意：西门子公司保留的数据块 DB1 和 FB15 不要覆盖，它由 PCMCIA 卡生成。

② 复制用户源程序中的 FC 块和 FB 块到新程序中，与 Toolbox 重复的块不复制，并根据系统提示删除多余的 DB 数据块，然后重启 PLC。

③ 复制旧 OB1 块到新程序，根据旧程序的 OB100 编辑新程序的 OB100。然后复制其他与 Toolbox 不冲突的 OB 组织块，重启整个机床。

④ 此时 PLC 重新编程结束并会立即启动。若 PLC 不能马上启动，根据 diag buffer 排除故障即可。

6）重启机床，检查 LCD 屏幕上是否存在报警及电控柜内已被升级的 CCU 模块上错误状态灯和 7 段 LED 的显示是否正常。若 CCU3.4 模块上的 SF 灯点亮呈红色，则表明驱动有故障，此时在 PCU20/MMC100.2 上借助“SIMODRIVE 611D START－UP TOOL”软件（PCU50/PCU70/MMC103 直接在 OP 单元上进行）重新配置机床的驱动数据即可。

4. CCU3 模块升级为 CCU3.4 模块

前面介绍的 MK1350×3000 型数控外圆磨床在使用过程中因环境恶劣而出现了 CCU3 模块烧毁的问题（见图 1-51），导致 CCU3 模块无法修复、机床处于停机状态。为此，向西门子公司购买该模块，但被告知 CCU3 模块随着数控技术的发展而不再生产，只能用 CCU3.4 模块进行替换。

当更换 CCU3.4 模块后，先前备份的 NCK 数据、PLC 数据和启动数据（含进给轴驱动和头架主轴驱动）均无法实现回传。只能按照如下操作方法，才能完成数据回传和恢复机床的运转。

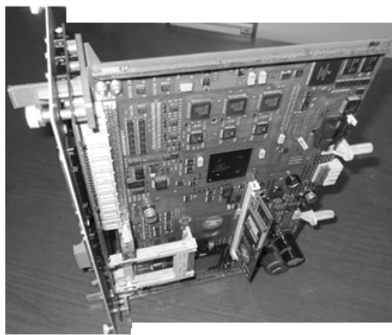


图 1-51 被烧毁的 CCU3 模块

1）重新配置机床参数，实现加工程序的回传。

2）建立新的 S7 程序，复制 Toolbox 下的 PLC 标准数据至该程序下并重启 PLC。再复制用户源程序中的 FC 块和 FB 块至新程序中并重启 PLC。然后适当调整 OB1 和 OB100 等组织块即可使 PLC 程序上传至 SINUMERIK 810D 系统中。

3）由于升级后的启动数据异常而导致 CCU3.4 模块上的 SF 灯点亮呈红色（驱动有故障），所以只能在 PCU20 上借助“SIMODRIVE 611D START－UP TOOL”软件（又称 IBN－TOOL 软件）来重新配置机床的驱动数据。

① 设定相关参数：Location（设定驱动模块的位置），Drive（设定此轴的逻辑驱动号），Active（设定是否激活此模块）。

② 当配置完成并有效后，先依次单击软键［SAVE］和［OK］，以存储配置，再执行一次 NCK 复位。

③ 启动后 LCD 屏幕上显示 300701 报警（即轴%1 驱动%2 需要设定参数，其中%1 为 NC 轴号，%2 为驱动号，原因为第 1 次启动时没有有效的 611D 机床数据），此时驱动配置画面中“驱动”栏内灰色的 FDD 项和 MSD 项变为黑色。接下来，先用鼠标点选 FDD 项，并依次单击垂直软键［Motor Controller］和［Motor Selection］，再根据电动机铭牌上的订货号 MLFB 选择伺服电动

机后，依次单击垂直软键［OK］和［Calculation］来结束电动机的选择。

④ 用垂直软键［Drive +］或［Drive −］切换下一个伺服轴后，先用鼠标单击 MSD 项，并依次单击垂直软键［Motor Controller］和［Motor Selection］，再根据电动机铭牌上的订货号 MLFB 选择主轴电动机，随之依次单击垂直软键［OK］和［Calculation］，最后依次单击垂直软键［Boot File］、［Save Boot File］和［Save All］，并执行一次 NCK 复位。

⑤ 至此，驱动配置完成，CCU3.4 模块上红色状态灯 SF 熄灭，各轴可以运行。

⑥ 设定与进给轴相关的机床参数（Axis − specific），找到相应的轴参数（见表 1-22）并用垂直软键［AX +］和［AX −］切换至目标轴。

表 1-22 MK1350 × 3000 型数控外圆磨床进给轴的机床数据设定

机床数据		机床数据说明	设定值		
			AX1（X 轴砂轮架）	AX2（Z 轴工作台）	AX3（尾座分度）
MD30130	CTRLOUT_TYPE	控制给定输出类型，MD30130 = 0 且 MD30240 = 0 时该轴为仿真轴	1	1	1
MD30200	NUM_ENCS	编码器数目			2
MD30240	ENC_TYPE	带 EnDat 接口的绝对值编码器	4	4	4
MD30242	ENC_IS_INDEPENDENT	编码器是独立的			1
MD31020	ENC_RESOL	每转的编码器行数/分辨率			18000
MD31040	ENC_IS_DIRECT	编码器直接装在机床上（全闭环控制）			1
MD31050	DRIVE_AX_RATIO_DENOM	负载变速箱分母	2		
MD31070	DRIVE_ENC_RATIO_DENOM	测量变速箱分母			14400
MD31080	DRIVE_ENC_RATIO_NUMERA	测量变速箱分子			191
MD32000	MAX_AX_VELO	最高轴速度			18000
MD32010	JOG_VELO_RAPID	点动快速速度			18000
MD32060	POS_AX_VELO	定位轴速率的初始设定			18000
MD32100	AX_MOTION_DIR	移动方向（无控制方向）			−1
MD32310	MAX_ACCEL_OVL_FACTOR	轴速率步进的过载系数	2		
MD32700	NC_COMP_ENABLE	螺距插补补偿生效（0 为无效）	1	1	
MD34200	ENC_REFP_MODE	不回参考点，有绝对值编码器时接受 MD34100 REFP_SET_POS 的值	0	0	0
MD34230	NC_SERIAL_NUMBER	编码器序列号	15652232	15652232	15680723

注：“设定值”空白处为系统出厂默认值。

⑦ 按表 1-23 所示，设定机床参数将机床头架轴（工件轴）定义为主轴，设定完毕后执行一次 NCK 复位。

表 1-23　MK1350×3000 型数控外圆磨床头架主轴的机床数据设定

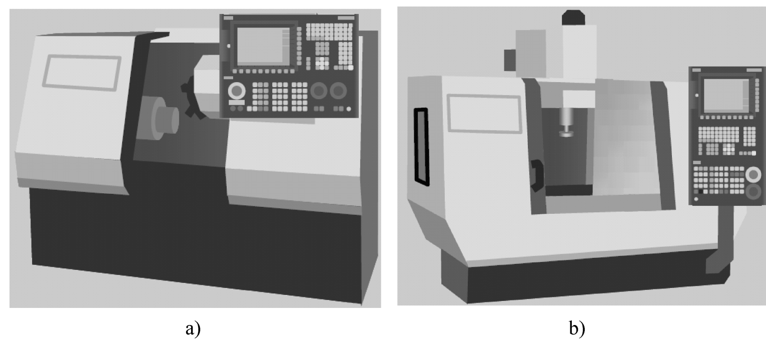
机床数据		机床数据说明	设定值 AX4（头架主轴）
MD30130	CTRLOUT_TYPE	控制给定输出类型，MD30130 =0 且 MD30240 =0 时该轴为仿真轴	1
MD30240	ENC_TYPE	编码器类型为高分辨率的原信号发生器	1
MD30300	IS_ROT_AX	设定为旋转轴	1
MD30310	ROT_IS_MODULO	具有模数属性的旋转轴	1
MD30320	DISPLAY_IS_MODULO	旋转轴和主轴的系数 360°显示	1
MD32000	MAX_AX_VELO	最高轴速度	400
MD32010	JOG_VELO_RAPID	点动模式下的快移速度	50
MD32020	JOG_VELO	点动轴速度	10
MD32040	JOG_REV_VELO_RAPID	带快速进给修调的点动中旋转进给率	30
MD32050	JOG_REV_VELO	点动中的旋转进给率	30
MD32060	POS_AX_VELO	定位轴速率的初始设定	30
MD32200	POSCTRL_GAIN	伺服增益系数（不宜过大）	3
MD32300	MAX_AX_ACCEL	轴加速度：通常该值不进行人为改变，而当轴运行启停时间过长时，可适当加大 MD32300；还有，当轴从静止加速至最高速或从最高速减速至零时发生轮廓报警或振荡的情况下，可适当减小 MD32300	1
MD35000	SPIND_ASSIGN_TO_MACHAX	设定为主轴	1
MD35100	SPIND_VELO_LIMIT	主轴最高速度	默认值 10000
MD35110	GEAR_STEP_MAX_VELO	主轴各挡的最高速度	默认值 500
MD35040	SPIND_ACTIVE_AFTER_RESET	自主轴复位	1
MD35130	GEAR_STEP_MAX_VELO_LIMIT	主轴各挡最高转速限制	默认值 500
MD36200	AX_VELO_LIMIT	速度监控门槛值	500
MD43250	M19_SPOSMODE	用 M19 定位主轴的主轴位置逼近方式	1
MD43300	ASSIGN_FEED_PER_REV_SOURCE	定位轴/主轴的旋转进给率	0

4）系统启动后，在 MDA 方式下输入程序段 S＊＊ M03（＊表示数字），按下操作面板上的［NC START］按钮后主轴即可运转。注意：所有关键参数配置完成后，应在 JOG、手轮和 MDA 等方式下以不同的速度运行各伺服轴，观察其运行状态。若个别轴的运行状态不正常时，排除硬件故障灯原因后，则需对其进行优化。

1.6　SINUMERIK 828D 系统

SINUMERIK 828D 是西门子公司专门针对紧凑型机床而开发的一款基于操作面板的紧凑型中高档数控系统（见图 1-52），其总体性能介于 SINUMERIK 802Dsl 与 SINUMERIK 840D 之间。它

将高分辨率 8.4/10.4in TFT 彩色显示器、全尺寸 NC 键盘、CNC、PLC 和 6 轴控制功能集成于一体（被称为 PPU），采用全新的 HMI 操作界面 SINUMERIK Operate，并配有诸多高级数控功能（见表 1-24）；既可使用 ShopMill 或 ShopTurn 图形化工步式编程满足单件、小批量工件的车铣加工要求，又可配合使用高级语言和参数化工艺循环编程向导以满足大批量复杂工件的生产要求。



a)　　　b)

图 1-52　SINUMERIK 828D 的标准应用
a）车床版的 828D　b）铣床版的 828D

SINUMERIK 828D 通过 DRIVE－CLiQ 接口与数字驱动 SINAMICS S120 Combi 进行通信，可连接 1FT7/1FK7/1FE1/2SP1 同步电动机和 1PH/1PM 异步电动机。在铣削应用中最多可控制 6 根进给轴/主轴，在车削应用中最多可控制 8 根进给轴/主轴。

表 1-24　SINUMERIK 828D 配置的高级数控功能及特点

序号	高级功能	功 能 特 点
1	全套副主轴控制功能	通过该功能，可实现工件一次装夹中的完整加工；主主轴能实现的加工，副主轴同样可以实现，如在车床上借助于动力刀头进行端面和外圆表面的加工而不用增加 Y 轴
2	编程向导 program GUIDE	通过该功能，高级语言（DIN/ISO 语言与 CNC 语言配合使用）编程的灵活性和工艺循环编程的便利性得到完美的结合，从而有效提高了大批量加工的效率；在线 ISO 代码编译器使得 828D 系统可以识别其他类型的加工程序；基于文本的程序编辑器可提供许多便利的功能，能简化程序的编辑过程等；program GUIDE 还可将工艺循环集成到加工程序中，操作者仅需轻触几下按键和动画的辅助支持，就可轻松发挥 828D 的卓越性能
3	ShopMill/ShopTurn 工步式编程	ShopMill/ShopTurn 工步式编程是全球最直观易读的程序编辑器，诸如钻孔、定心、槽或型腔铣削等加工程序的编制均以工步形式显示，使得单件、小批量加工的编程时间大大缩短；工步式编程不仅提供动态蓝图显示功能（以真实比例显示程序内所有几何元素），还可提供加工程序模拟功能
4	智能坐标转换功能	该功能是基于加工平面的一种坐标转换，可实现圆柱形工件的端面/柱面加工和工件倾斜平面的铣削加工等；TRANSMIT 功能可使车床的定位主轴以 C 轴模式工作，配合动力刀头可实现柱形工件端面的钻、铣加工；圆周表面加工功能可实现平行壁面的车槽和铣槽加工；旋转循环可实现静止旋转工件表面的钻孔和铣削加工；第二主轴循环可使工件从主轴传递至第二主轴而无需使用专用 G 代码

（续）

序号	高级功能	功 能 特 点
5	针对模具制造的“精优曲面”控制技术	828D 为了应对高精度模具加工对数控系统性能的挑战性要求，特采用了基于预读数学算法的“精优曲面”控制技术，根据计算出的最佳表面过渡形式用微小线段逼近模具的轮廓，从而用最少的加工时间获得镜面般光滑的工件表面质量，真正实现最佳表面和高速、高精加工的和谐统一
6	80 位浮点数纳米计算精度	SINUMERIK 828D 和 SINAMICS 均基于 80 位浮点数计算精度进行闭环位置控制、电流环和速度环控制，其精度远远高于纳米数量级，可获得最佳工件轮廓精度
7	Easy Message 短信功能	通过该功能，操作者可将机床的报警信息和维护信息以手机短信形式发送给服务人员，由制造商对机床进行远程监控和诊断，从而将机床的待机时间压缩到最短；通过该功能，机床可根据操作者的设定随时将其运行状态反馈给操作者，以实现一人同时管理多台数控机床的群控操作，从而大幅度提高生产力
8	Easy Extend 机床选项管理功能	通过该功能，用户无需专业知识即可轻松管理（仅需按下一个按钮以激活存储在某个脚本文件中的关于机床选项部件的系统参数）转台或上料装置等机床选项，从而大大节省机床的服务费用
9	刀具管理功能	通过该功能，828D 可管理多达 256 把刀具和 512 个刀沿，并可借助于短信计数随时监控刀具的使用寿命及管理刀具和刀库；它可在一个画面中同时显示刀具数据和刀套信息，且以图形方式显示刀具的类型
10	维护计划功能	通过该功能，828D 可集中管理必要的机床维护任务，并自动提醒操作者及时对机床进行维护；另外，828D 无硬盘和风扇等易损件，可做到免维护
11	Easy Archive 备份管理功能	通过该功能，用户可便捷地管理必要的调试数据，并可分区备份这些调试数据；利用这些预制参数，机床制造商可快速完成 828D 开箱后的调试工作及机床的升级任务

1.6.1 SINUMERIK 828D 的结构组成

SINUMERIK 828D 系统的硬件组成如图 1-53、图 1-54 所示。

（1）SINUMERIK 828D 系统的硬件　包括数控装置、伺服驱动装置和伺服电缆三部分。

1）数控装置：不仅包含基于操作面板的 PPU（配置 8.4/10.4in TFT 彩色显示器且内置带机械键的 QWERTY CNC 全键盘）、机床控制面板（310C/483C PN）、基于 ProfiNET I/O 技术的数字量输入输出模块 PP72/48D PN 和 PP72/48D 2/2A PN（附加了模拟量控制）、最多 2 个电子手轮或经由接线盒接入的小型手持单元、以 SIMATIC S7－200 指令组为基础的内置 PLC，还包含用于保存系统软件的自引导启动式 CF 卡（PPU 运行的必需件，与 PPU 分开订购）、保存用户数据或扩展内置 CNC 存储器容量的 CF 卡、以 SMS 通信形式接收和发送数据的 GSM 调制解调器 SINAUT MD720－3（即 Easy Message 短信功能）及 1 个可将 828D 系统接入 ProfiNET 网络的具有固定名称“PN－PN－Coupler20”和固定 IP 地址 192.168.214.20 的 PN/PN 耦合器等组件。

SINUMERIK 828D 的 PPU 将 CNC、PLC、操作面板和 6 轴驱动控制（标配）集成于一体，不仅省去了 CNC 电路板和操作面板之间的硬件接口而使得系统耐用度大大提高，还去掉了风扇、缓冲蓄电池和硬盘灯耗材以确保系统的免维护运行。为了满足不同安装形式和不同性能要求的机床需要，828D 的 PPU 可分为面板水平布局或垂直布局的车削版与铣削版（见表 1-25）。

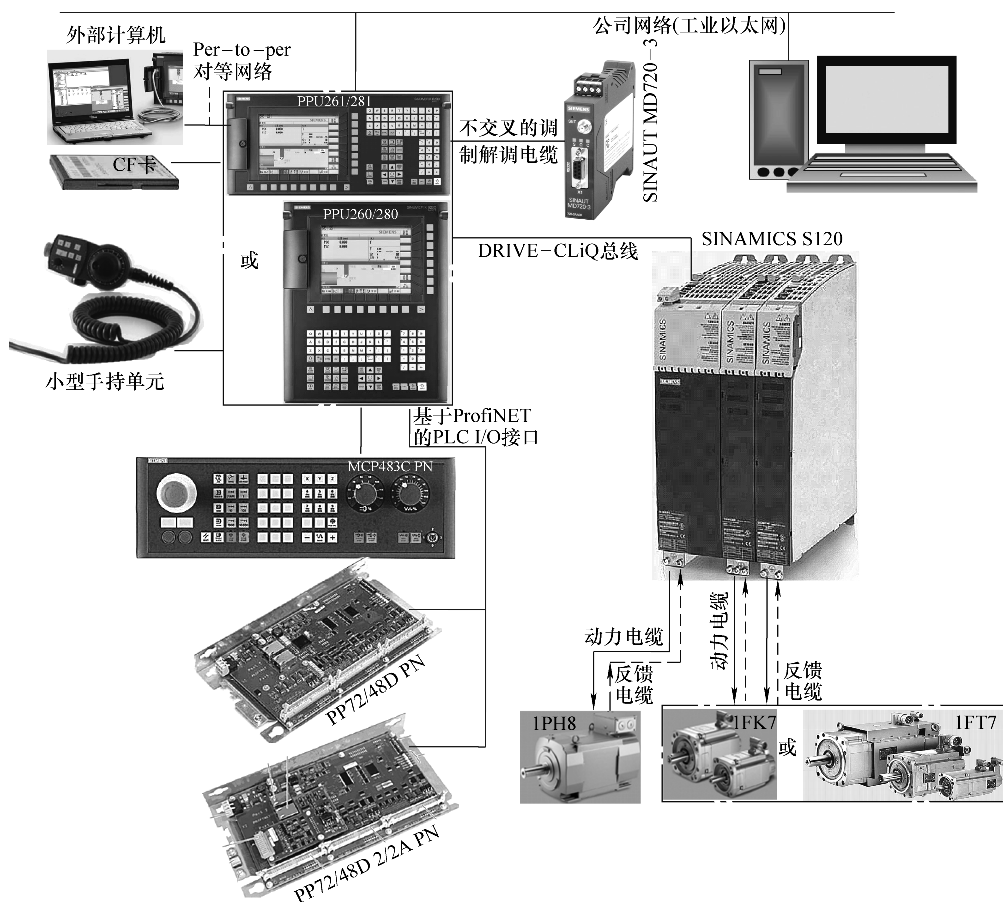


图 1-53　SINUMERIK 828D 系统的硬件组成（配 SINAMICS S120）

2）伺服驱动装置：通常在 SINUMERIK 828D 上可以连接所有带 DRIVE－CLiQ 的配套 SINAMICS 组件。

① 将输入电源整流为直流电后供给直流母线用的调节型/基本型/非调节型电源模块。

② 从直流母线获取直流电且经逆变后供给相应电动机用的单轴/双轴电动机模块。

③ 集成了整流单元的紧凑书本型驱动器 SINAMICS S120 及书本型扩展模块。

④ NX10.3 轴扩展模块。

⑤ 用于 Safety Integrated 功能的端子扩展模块 TM54F。

⑥ 用于 DRIVE－CLiQ 支路星形配线的集线器模块 DMC20/DME20。

⑦ 电柜安装式编码器模块 SMC10/20/30：当所连接的电动机不带 DRIVE－CLiQ 接口且除了电动机编码器外，还需配置一个独立的外部编码器时，使用该模块。

⑧ 用于电控柜外部直接测量系统连接的外部编码器模块 SME20/25/120/125。

⑨ SINAMICS S120 的电动机模块可连接 1FT7/1FK7/1FE1/2SP1 同步电动机，用于进给伺服轴的驱动；同时可连接 1PH/1PM 异步主轴电动机，用于主轴的驱动。铣削应用时最多可控制 6 根进给轴/主轴，车削应用时最多可控制 8 根进给轴/主轴。

3）伺服电缆（见图 1-55）：包括 PPU 连接 PP72/48D 模块、MCP310C/483C PN 等 I/O 装置和驱动器 S120 及轴扩展模块 NX10.3 的 DRIVE－CLiQ 信号电缆（型号 6FX2002－1DC00－1□□0，且最长 70m，其中□表示数字），电动机到驱动器 S120 的动力电缆（分带制动器和不带

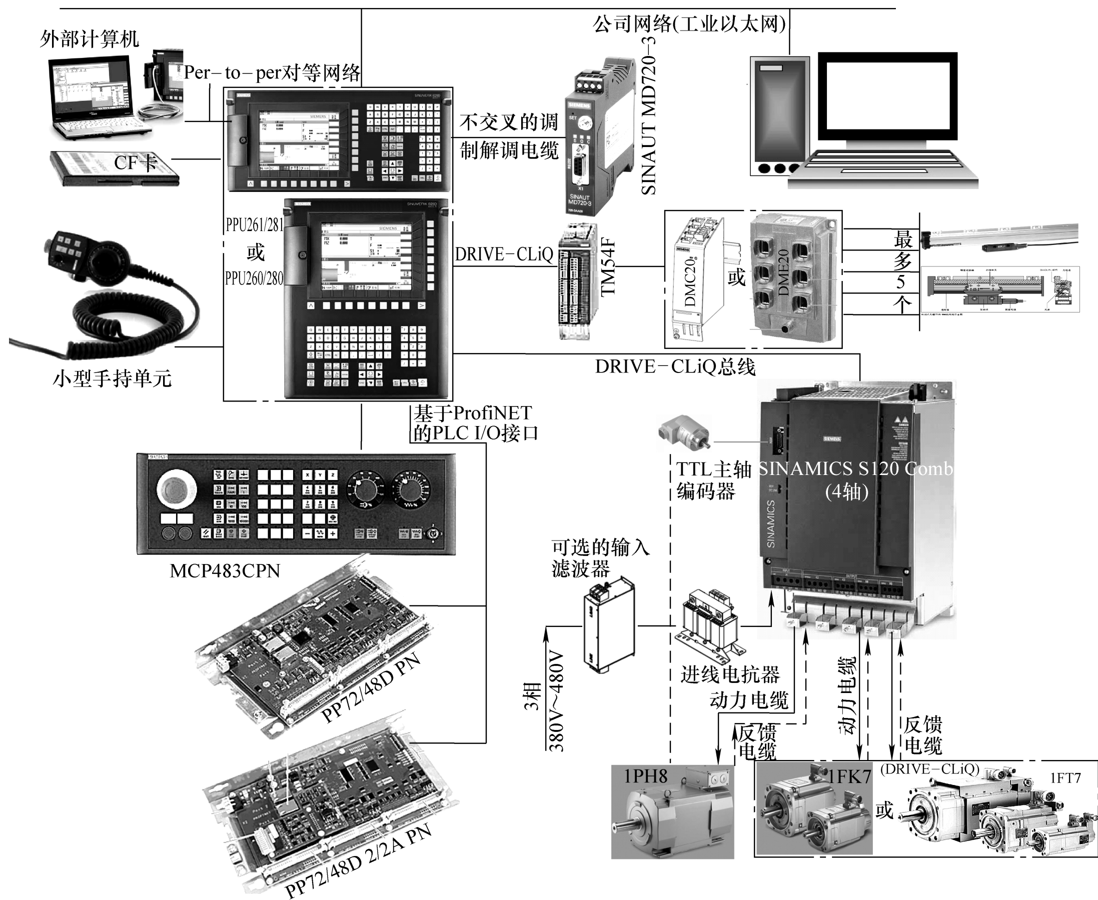
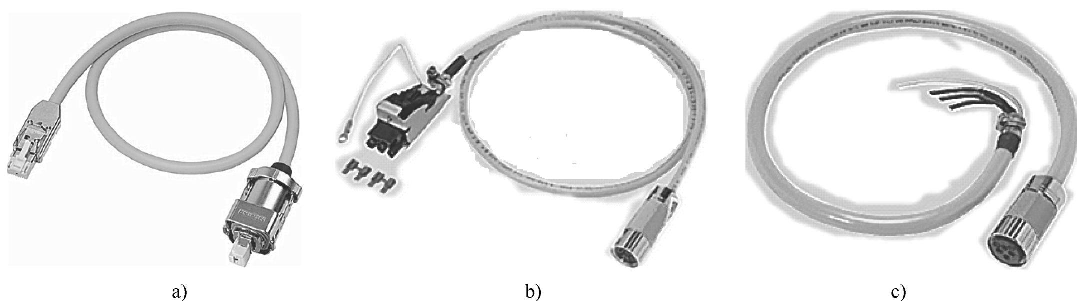


图 1-54 SINUMERIK 828D 系统的硬件组成（配 SINAMICS S120 Combi）

表 1-25 SINUMERIK 828D 的 PPU 型号及典型技术数据/特性的差别

功能		PPU240.2/241.2		PPU260.2/261.2		PPU280.2/281.2	
		BASIC T	BASIC M	车削版	铣削版	车削版	铣削版
TFT 显示器规格/in		8.4	8.4	10.4	10.4	10.4	10.4
DRIVE-CLiQ 端口		3	3	3	3	3	3
进给轴/主轴的基本配置		3	4	3	4	3	4
进给轴/主轴的最大数量		5	5	6	6	6/8 *	6
最大进给轴数量，带 Safety Intergrated		5	5	6	6	6/8 *	6
最大配置中的插补周期/ms		9	9	6	6	6	3
位置控制周期/ms		3	3	3	3	1.5	3
转速控制周期（电流控制周期）/μs		125	125	125	125	125	125
缓冲的工作存储器	对于 OEM 循环/KB	512	512	512	512	512	512
	用于用户数据/MB	1	1	3	3	5	5
Numeric Control Extension NX10.3		0	0	0	1	1	1
外设模块（数字）		3	3	4	4	5	5
外设模块（模拟）		3	3	4	4	5	5

注：1. PPU2n0.2 的操作面板为垂直布局，PPU2n1.2 的操作面板为水平布局，n=4，6，8。
2. 带 * 号是通过 NX10.3 可使轴的最大数量增加至 8。



a)　　b)　　c)

图 1-55　SINUMERIK 828D 的伺服电缆
a）DRIVE－CLiQ 信号电缆　b）电动机连接动力电缆　c）电源模块连接电缆

制动器两种情况）和电动机到驱动器 S120 的 DRIVE－CLiQ 信号电缆，用于路由器的远程诊断和连接 PG/PC 的以太网电缆（最长 100m），用于 GSM 调制解调器 SINAUT MD720－3 连接的 RS232 电缆（型号 6NH7701－5AN，且最长 2.5m），以及电子手轮电缆（最长 3m）和 USB 电缆（最长 3m）等。

（2）软件组成　SINUMERIK 828D 的软件由保存在自引导启动式 CF 卡上的系统软件和随机工具盒软件（与系统软件相匹配）等组成。

1）自引导启动式 CF 卡上的系统软件：该卡是运行 PPU 时的必需件，它不仅包含工艺专用的 828D 基础型软件和 SINAMICS 固件，还包含版本信息（序列号、版本和型号名称）和许可证密码。该卡不属于 828D 供货范围，需与 PPU 分开订购；同时它可以插入其他 PPU 中使用，而无需更改许可证。

2）随机工具盒软件（V2.6）：包含用于内置 PLC 的 PLC 编程工具和 PLC 程序库示例，及 SINAMICS S120 调试软件、RCS Commander（V2.6SP1）调试工具等。

① RCS Commander：它是用于外设 PG/PC 和 PPU 之间文件传输的一种调试工具，可通过 PPU 正面盖板下的 X127 接口由交叉以太网电缆进行 Peer－to－Peer 网络的直接连接（默认 DHCP 服务器为 NCU 提供的 IP 地址为 192.168.215.1），也可通过 PPU 背面的 X130 接口由非交叉以太网电缆进行公司网络式连接，以连续访问多个 NCU（此时 PG/PC 的 IP 地址由 DHCP 服务器从公司网络确定或者手动输入固定 IP 地址），如图 1-56 所示。原则上仅允许一条链接，即不能同时连接多个系统以免通过 RCS Commander 交换了 NCU 之间的数据。

② 驱动器 S120 调试软件 Starter：外部 PG/PC 经由交叉以太网电缆连接至 PPU 正面盖板下的 X127 接口后，通过免费调试软件 Starter 可以完成 SINAMICS S120 的驱动配置/优化（包含驱动和电源的配置及编码器和轴的指定等内容）。

1.6.2　SINUMERIK 828D 的功能连接

（1）828D PPU 的接口　如图 1-57 所示。

1）X127 和 X130 接口：均为全双工运行的以太网接口，属于 8 芯 RJ45 插口，用于以 100Mbit/s 的传输速率发送和接收数据。其中 X127 接口经由交叉电缆通过 Peer－to－Peer 网络可实现 PPU 与外部 PG/PC 或远程诊断调制解调器的直接连接，IP 地址是由默认 DHCP 服务器提供的固定地址 192.168.215.1。X130 接口经由非交叉电缆可将 PPU 连接至公司网络上，公司地址为自由给定，PPU260/261 中 X127 和 X130 的 MAC 地址分别为 00－1C－06－FF－FF－10 和 00－1C－06－FF－FF－11。X127 和 X130 接口的 8 个引脚中 Pin1 为 TxP（发送数据＋）、Pin2 为 TxN（发送数据－）、Pin3 为 RxP（接收数据＋）、Pin6 为 RxN（接收数据－），其他引脚空余。

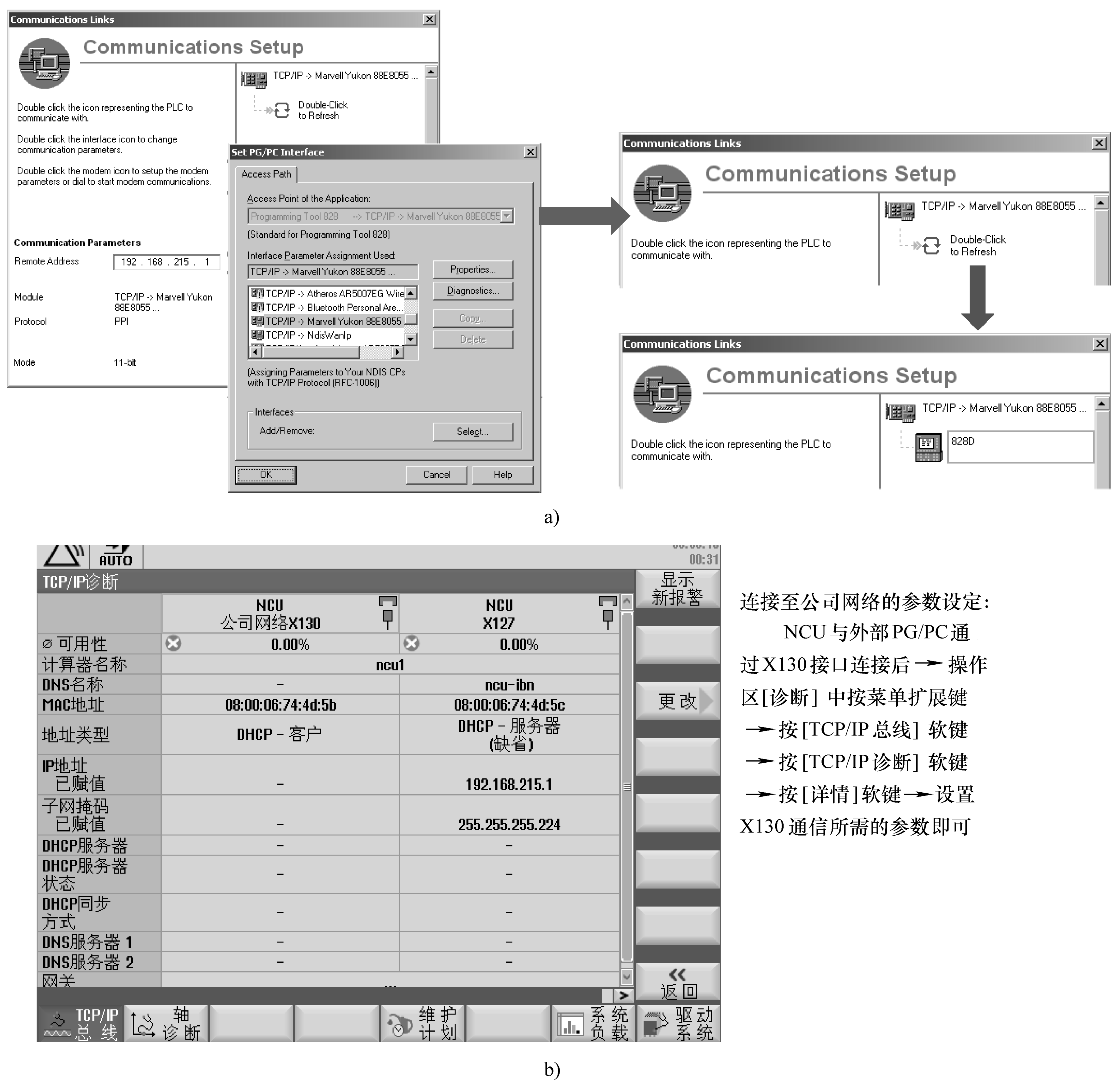


图 1-56　外部 PG/PC 与 PPU 通信的两种方式

a）Peer - to - Peer 网络直接连接　b）由 X130 接口进行公司网络连接

X130 接口旁有一个绿色 LED 和一个黄色 LED，分别用于以太网链接状态和数据传递状态的监控。绿色 LED 点亮表示存在 10/100Mbit/s 的链接，熄灭表示无链接或链接出错。黄色 LED 点亮表示接收或传输数据，熄灭表示无数据活动。

2）2 个 CF 卡插槽和 3 个状态 LED：打开 PPU 侧面的用户接口保护盖后，可看到一个 50 芯的 CF 卡插槽 X145 和 3 个状态 LED（RDY 灯、NC 灯和 CF 灯，见表 1-26）。拆掉 PPU 背面右上角的螺钉 M3 并移除金属盖板后，可看到一个 50 芯 CF 卡插槽。X145 插槽内的 CF 卡，用于保存用户数据以扩大 PPU 用户存储器的存储容量；PPU 背面右上角的 CF 卡是自引导启动式存储卡，用于保存 PPU 运行所必需的系统软件（基础型软件、SINAMICS 固件和版本信息及许可证密码），该卡不属于供货范围，需和 PPU 分开订购且可以用于其他 PPU 的启动运行而无需更改许可证。

注意：CF 卡插槽仅支持 FAT16 或 FAT32 格式的 CF 卡文件，且 828D 只允许使用的 CF 卡型号为 6FC5313 - 5AG00 - 0AA1/1GB。

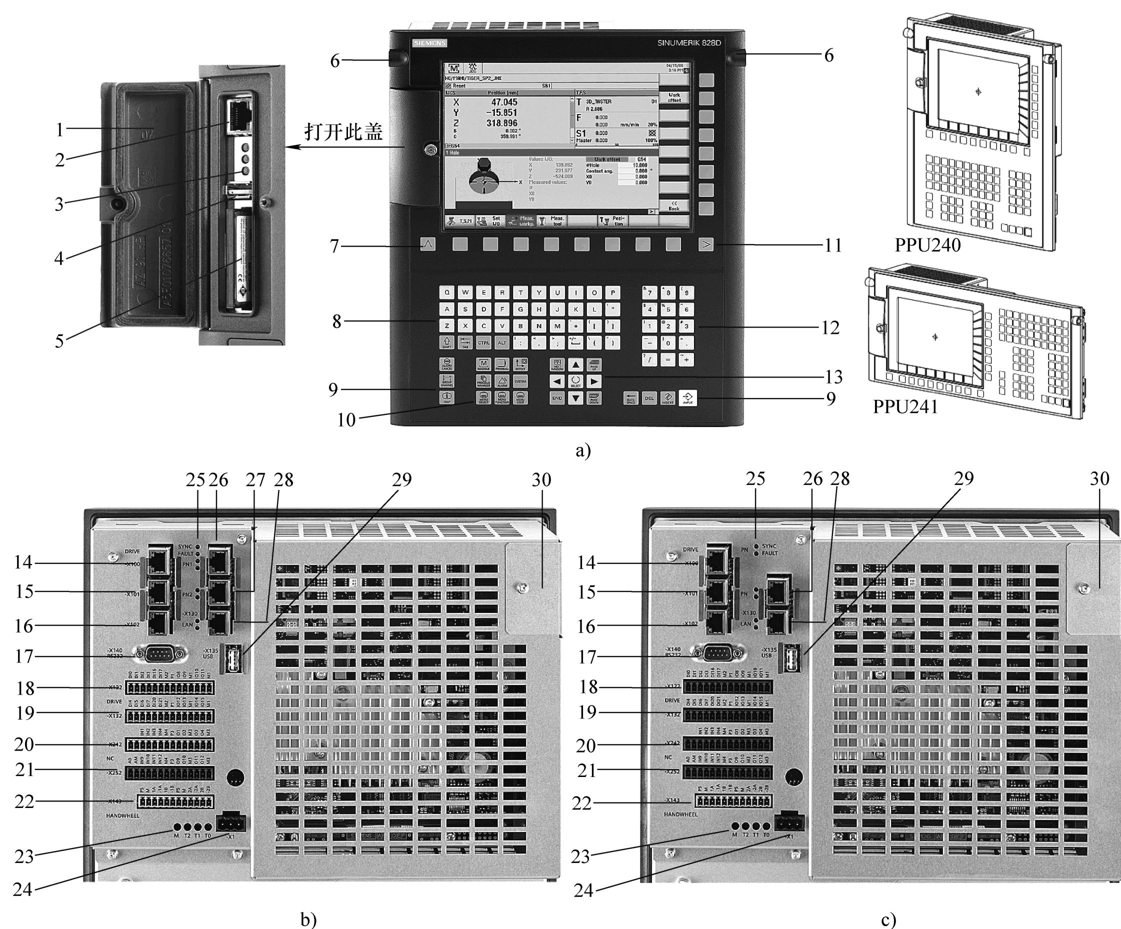


图 1-57　SINUMERIK 828D PPU 的接口图

a）PPU260.2/PPU280.2 的正面图　b）PPU26x.2/PPU28x.2 的背面图　c）PPU24x.2 的背面图

1—用户接口保护盖　2—以太网插口 X127　3—状态 LED　4—USB 插口 X125　5—用户数据 CF 卡插槽
6—图纸架等辅助装置的安装螺孔（3/8in）　7—菜单回车键　8—字母区　9—控制键区　10—热键区
11—菜单扩展键　12—数字区　13—光标区　14、15、16—DRIVE - CLiQ 插口 X100，X101，X102
17—RS232 接口 X140　18、19、20、21—数字量输入/输出端 X122，X132，X242，X252　22—手轮接口 X143
23—服务用测量接口　24—DC24V 输入端口 X1　25—状态 LED　26、27—PLC I/O 端口 PN2 和 PN1
28—以太网插口 X130　29—USB 插口　30—自引导启动 CF 卡的金属盖板

注：x＝0 或 1。

表 1-26　用户接口保护盖后 3 个状态 LED 的显示及内容

序号	状态 LED 名称	呈现颜色	显示状态	表达的内容
1	RDY	绿色	持续发光	NC 就绪，PLC 正在运行
		黄色	持续发光	PLC 停止运行
			不断闪烁	启动过程中
		红色	持续发光	在 NC 就绪信号未出现的引导启动中 NC 停止，或是严重出错导致 NC 停止，可尝试断电重启消除故障
2	NC	黄色	循环闪烁	NC 运行过程中
3	CF	黄色	持续发光	正在读取 CF 卡，此时禁止拔出 CF 卡以免损坏 CF 卡

3）X1：外部 DC24V（20.4～28.8V）电源输入端口，其中引脚 1 为 24V 端子 P24，2 为接地端子 M，3 为保护地端子 GND。电缆最长为 10m，当超过 10m 时应在设备的输入端配置保护器件以防止浪涌影响。

4）X100、X101 和 X102：DRIVE－CLiQ 接口，属于 8 芯 RJ45 插口。通过 DRIVE－CLiQ 接口可实现 PPU 与 SINAMICS S120 组件（如紧凑书本型驱动器 S120 Combi、端子扩展模块 TM54F、集线器模块 DMC20/DME20、轴扩展模块 NX10.3、电柜安装式编码器模块 SMC10/20/30 和外部编码器模块 SME20/25/120/125 等）的连接，且通过 PPU 可自动识别组件及对组件进行诊断和维护。连接时使用类型为 MOTION－CONNECT、规格为 6FX2002－1DC00－1□□0 的连接电缆（□表示数字）。DRIVE－CLiQ 接口的 8 个引脚中 1 为 TxP（发送数据＋）、2 为 TxN（发送数据－）、3 为 RxP（接收数据＋）、6 为 RxN（接收数据－），其他引脚空余。

5）PLC I/O 接口 PN1 和 PN2 及状态 LED：PN1 和 PN2 为 PPU 上两个全双工运行（以 100Mbit/s 的传输速率发送并接收数据）的 PLC I/O 端口（PPU240/241 仅有 PN2），属于 8 芯 RJ45 插口。通过 PN1 和 PN2 接口可实现基于 ProfiNET I/O 技术的 PPU 与机床控制面板 MCP310C/483C PN 或外设模块 PP72/48D PN 和 PP72/48D 2/2A PN 的连接。连接时使用类型为 MOTION－CONNECT、规格为 6FX2002－1DC00－1□□0 的连接电缆且电缆长度不超过 70m（□表示数字）。通信时 PPU260/261 中 PN1 和 PN2 的 MAC 地址为 00－1C－06－FF－FF－12。PLC I/O 接口的 8 个引脚中 Pin1 为 TxP（发送数据＋）、Pin2 为 TxN（发送数据－）、Pin3 为 RxP（接收数据＋）、Pin6 为 RxN（接收数据－），其他引脚空余。

在 PN1 和 PN2 端口旁有一个绿色 LED（Link）和一个黄色 LED（Activity），分别用于该端口的 ProfiNET 链接状态和数据传递状态的监控，同时在 PN1 端口旁还有一个红色 LED（Fault）和一个绿色 LED（Sync），分别用于 PPU 和 PN1/PN2 端口链接状态和数据通信状态的监控。4 个状态 LED 的显示及内容见表 1-27。

表 1-27　PLC I/O 端口旁 4 个状态 LED 的显示及内容

序号	状态 LED 名称	呈现颜色	显示状态	表达的内容
1	Link	绿色	点亮	PN1/PN2 端口上存在 100MBit 的链接
			熄灭	PN1/PN2 端口上无链接或链接出错
2	Activity	黄色	点亮	PN1/PN2 端口正在接收或传输数据
			熄灭	PN1/PN2 端口无数据活动
3	Fault	红色	点亮	PPU 检测到 ProfiNET 总线故障，故障原因可能为：没有到子网/开关的物理链接；或传送速度错误；或全双工传送未激活
			熄灭	在 828D 的 PPU 上连接了所有允许的外设模块、MCP 和 PN/PN 耦合器，因此该状态与诊断无关
			点亮并不断闪烁（2Hz）	在 828D 中，表示正常链接状态，不表示故障状态
4	Sync	绿色	点亮	828D 的周期系统已与 PLC－I/O 端口的周期同步，且正处于数据交换中
			熄灭	828D 的周期系统与 PLC－I/O 端口的发送周期不同步，生成了一个与发送时钟周期相同的内部等效周期
			点亮并不断闪烁（2Hz）	828D 的周期系统已与 PLC－I/O 端口的周期同步，且正处于循环式数据交换中

6）X122、X132、X242 和 X252：数字量输入/输出端口，属于螺栓连接的 14 型端子插头。X122 和 X132 端口共有 6 路数字量输入信号和 4 路双向数字量输入/输出信号，可用于驱动的控制。X242 和 X252 端口共有 8 路输入信号和 8 路输出信号，可用于 NCK 的控制。X122、X132、X242 和 X252 端口连接电缆的最大容许负载为 4A，且电缆长度不超过 30m，其连接图如图 1-58 所示。注意事项有：

a. 唯有采用一同引入数字量输入端的基准接地或跨接 X1 接口上端子 M 的方法连接端子 MEXT1 ~ MEXT4，方可使数字量输入/输出端生效。

b. 唯有采用连接外部电源或跨接 X1 接口上端子 P 的方法一同连接端子 P24EXTn（n = 1，3），方可使输出端生效。

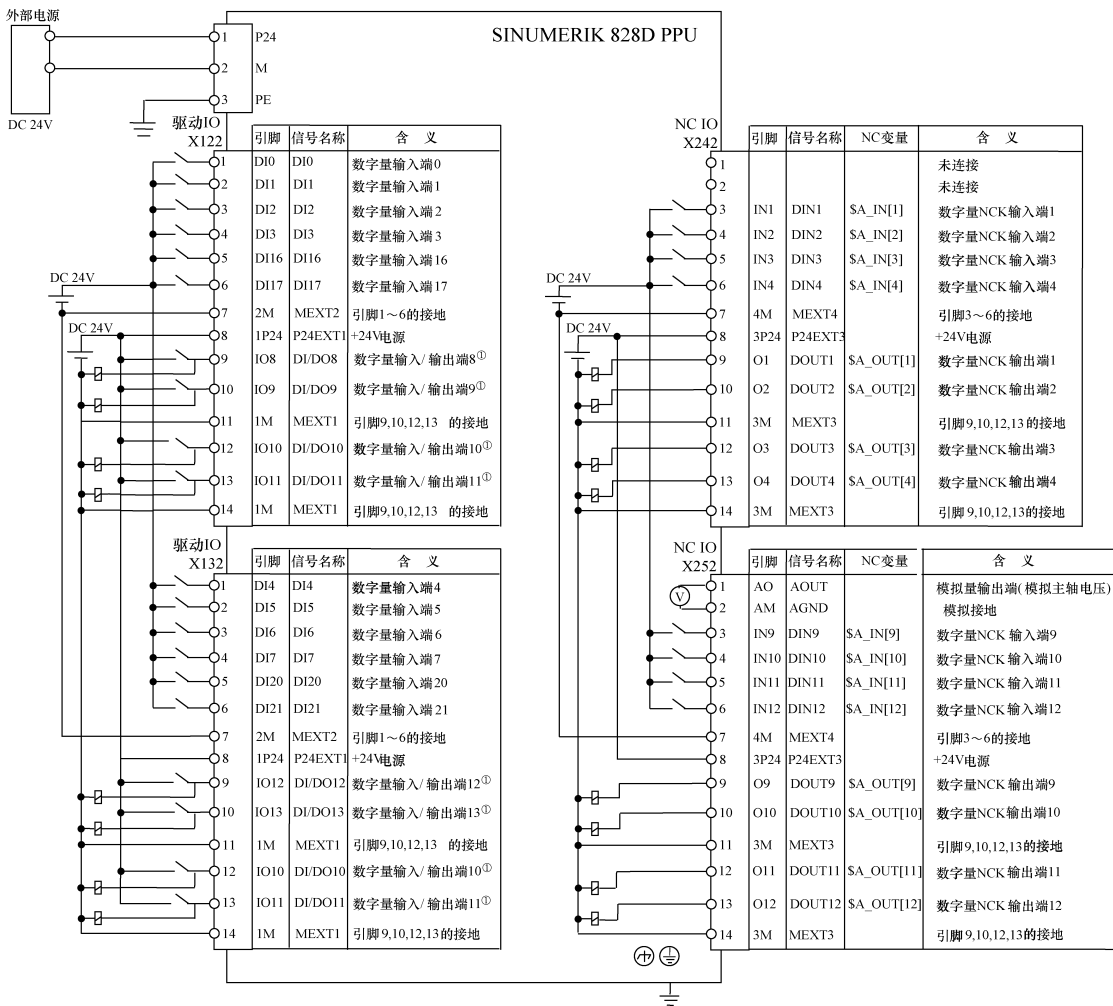


图 1-58　PPU 数字量输入输出端接线图及其引脚内容

① 快速输入端应设置屏蔽。

7）X143：电子手轮接口，属于螺栓连接的 12 型端子插头。最多可连接 2 个电子手轮，连接时使用规格为 6FX8002－2BB01－1A□□的屏蔽双绞线且长度不超过 3m（□表示数字）。其传输信号为 5V TTL 或差分信号，信号的最大输出频率为 500kHz，脉冲信号 A、B 相位偏移为 90°±30°。该接口的 12 个引脚中 Pin1 和 Pin7 为最大电流 250mA 的 5V 电源信号 P5，Pin2 和 Pin8 为接

地 M，Pin3 和 Pin4 分别为手轮 1 的 A 相基本脉冲输入信号 1A 和取反脉冲输入信号 *1A，Pin5 和 Pin6 分别为手轮 1 的 B 相基本脉冲输入信号 1B 和取反脉冲输入信号 *1B，Pin9 和 Pin10 分别为手轮 2 的 A 相基本脉冲输入信号 2A 和取反脉冲输入信号 *2A，Pin11 和 Pin12 分别为手轮 2 的 B 相基本脉冲输入信号 2B 和取反脉冲输入信号 *2B。

8）X125 和 X135：属于标准 4 芯 USB 接口，用于连接一个 USB 闪存驱动器以传送用户数据和调试数据。X125 位于 PPU 侧面用户接口保护盖后，X135 位于 PPU 背面。USB 接口的容许负载为 0.5A，数据最大传输速率为 12Mbit/s 且电缆长度不超过 3m。USB 接口共有 A1（P5_USB，抗短路 DC5V 电源）、A2（DN_USB，通道 0 的 USB 数据 -）、A3（DP_USB，通道 0 的 USB 数据 +）和 A4（M，接地）四个引脚。

9）X140：RS232 接口，属于 9 芯针式 D-Sub 插头。用于连接 GSM 调制解调器 SINAUT MD720-3，连接时使用规格为 6NH7701-5AN 且长度不超过 3m 的 RS232 电缆。该接口的 9 个引脚中 Pin2 为 RxD（接收数据），Pin3 为 TxD（传送数据），Pin4 为 DTR（数据终端就绪），Pin5 为 M（接地），Pin6 为 DSR（运行就绪状态），Pin7 为 RTS（请求发送），Pin8 为 CTS（允许发送），Pin1 和 Pin9 空置。

（2）输入/输出模块 PP72/48D PN 和 PP72/48D 2/2A PN 的接口及其连接　如图 1-59 所示，外设模块 PP72/48D PN 和 PP72/48D 2/2A PN 是 2 块不带外壳的简单模块，用于连接基于 ProfiNET I/O 技术的自动化系统框架中的数字量输入/输出端。PP72/48D PN 模块可提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端，PP72/48D 2/2A PN 模块除提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端外，还可提供 2 个模拟量输入端和 2 个模拟量输出端。模块上 ProfiNET 接口数据的最大传输速率为 100Mbit/s。SINUMERIK 828D 系统的 PPU240/241、PPU260/261 和 PPU280/281 最多可分别连接 3 块、4 块和 5 块 PP72/48D PN 模块或 PP72/48D 2/2A PN 模块。

1）X1：为模块 PP72/48D PN 和 PP72/48D 2/2A PN 及 72 个数字量输入端提供 DC24V/0.7A（20.4～28.8V），其中引脚 1 为 24V 端子 P24，2 为接地端子 M，3 为保护地端子 GND。模块端接线时应避免出现极性倒转、短路（≤4A）或过载（自修复的 PTC 熔丝、自恢复式熔丝）等。

2）ProfiNET X2：为基于 ProfiNET 技术的全双工运行（发送并接收数据）的两个 RJ45 接口（端子 1 和端子 2），通过规格为 6FX2002-1DC00-1□□0（□为电缆长度代码 A～K）且长度不超过 70m 的 SINAMICS DRIVE-CLiQ 信号电缆实现与 PPU（PLC I/O 接口的 PN1 或 PN2）和其他外设模块的连接（X2），数据的传输速率为 100Mbit/s（快速以太网）。ProfiNET X2 接口的 8 个引脚中 Pin1 为 TxP（发送数据 +），Pin2 为 TxN（发送数据 -），Pin3 为 RxP（接收数据 +），Pin6 为 RxP（接收数据 -），其他引脚空置。

在 RJ45 插口上有一个绿色 LED（Link）和一个黄色 LED（Activity），分别用于 X2 端口的 ProfiNET 链接状态和数据传递状态的监控。其中，绿色 LED 点亮表示存在 100Mbit/s 的链接，熄灭表示无链接或链接出错；黄色 LED 点亮表示接收或传输数据，熄灭表示无数据活动。

3）10 位的 DIP 开关 S1：在 PP72/48D PN 模块与 PPU 和其他外设模块连接时，为模块分配一个正确的 ProfiNET 地址（如 192.168.214.n，n=9，8，7，6，5）以实现通信。新设定的 ProfiNET 地址只有在电源断开/接通时方可生效。设定了 ProfiNET 地址的外设模块还需将机床数据 MD12986 [i]（$MN_PLC_DEACT_IMAGE_LADDER_IN）和 MD12987 [i]（$MN_PLC_DEACT_IMAGE_LADDER_OUT）设定为 -1，以激活外设模块传输数据至 PLC 的输入/输出映像区（见表 1-28）。

4）X111、X222 和 X333：数字量输入/输出端，属于 3 个独立的 50 针柱状连接器，使用长度不超过 30m 的扁平电缆连接（见图 1-60）。注意事项有：

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

a)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

b)

ProfiNET地址开关S1的设定(务必按此设定，否则不能通信)								
位1	位2	位3	位4	位5,6,7,8	位9	位10	设备名称	含 义
$2^0=1$	$2^1=2$	$2^2=4$	$2^3=8$	全部为OFF状态	位9和位10始终处于ON状态，以保障模块ProfiNET功能			
ON	OFF	OFF	ON				PP72/48 PN9	第1块PP模块
OFF	OFF	OFF	ON				PP72/48 PN8	第2块PP模块
ON	ON	ON	OFF				PP72/48 PN7	第3块PP模块
OFF	ON	ON	OFF				PP72/48 PN6	第4块PP模块
ON	OFF	ON	OFF				PP72/48 PN5	第5块PP模块

状态LED(H1～H6)：系统启动期间H1、H2和H3会全部点亮，
启动后按下述状态正常显示

状态LED名称		颜色	显示状态	表达的内容
H1	Power OK	绿色	点亮	电源供应正常
			熄灭	生成的逻辑电压低于设定值而触发复位致电源不正常
H2	PNSync	绿色	点亮	周期系统已和总线的周期同步
			熄灭	周期系统与总线的周期不同步
			0.5Hz频率不断闪烁	周期系统已和总线的周期同步，且正在进行循环数据交换
H3	PNFault	红色	熄灭	所有模块运行正常，正在与所配置的I/O设备进行数据交换
			点亮	严重的总线错误，端口识别出以下可能的错误：没有到子网/开关的物理链接，或传送速度错误，或全双工传送未激活等
H4	DIAG1	绿色		保留
H5	DIAG2	绿色		保留
H6	OVTemp	红色	持续点亮	超温指示

图 员-源 输入/输出模块 PP72/48 PN 和 PP72/48D 2/2A PN 的接口

葬 PP72/48 PN 摇遭 PP72/48D 2/2A PN

员—端子 载员摇圆—阅 开关 S1 猿—状态 LED 源 缘 苑—扁平插头 载员、载圆和 载猿

远 愿—载圆接口 员，圆 怨—接地螺栓 员园—状态 LED（黄色） 员员—状态 LED（绿色） 员圆—模拟量接口 载猿 员猿—屏蔽层

表 1-28 机床数据设定值与外设模块的关系

机床数据（输入控制）	机床数据（输出控制）	逻辑地址	禁止传输数据到 PLC 的输入/输出映像区	备注
MD12986［0］	MD12987［0］	-1	第 1 块 PP72/48 模块生效	0 为失效
MD12986［1］	MD12987［1］	-1	第 2 块 PP72/48 模块生效	9 为失效
MD12986［2］	MD12987［2］	18	第 3 块 PP72/48 模块失效	-1 为激活
MD12986［3］	MD12987［3］	27	第 1 块 PP72/48 模块失效	-1 为激活
MD12986［4］	MD12987［4］	36	第 1 块 PP72/48 模块失效	-1 为激活
MD12986［5］	MD12987［5］	96	PN 总线耦合器失效	-1 为激活
MD12986［6］	MD12987［6］	-1	机床控制面板 MCP310C/483C PN 生效	112 为失效

引脚	X111	X222	X333	类型	引脚	X111	X222	X333	类型
1		M		GND	26	DI2.7	DI5.7	DI8.7	I
2	P24OUT			VO	27, 29	无定义			
3	DI0.0	DI3.0	DI6.0	I					
4	DI0.1	DI3.1	DI6.1	I	28, 30	无定义			
5	DI0.2	DI3.2	DI6.2	I					
6	DI0.3	DI3.3	DI6.3	I	31	DO0.0	DO2.0	DO4.0	O
7	DI0.4	DI3.4	DI6.4	I	32	DO0.1	DO2.1	DO4.1	O
8	DI0.5	DI3.5	DI6.5	I	33	DO0.2	DO2.2	DO4.2	O
9	DI0.6	DI3.6	DI6.6	I	34	DO0.3	DO2.3	DO4.3	O
10	DI0.7	DI3.7	DI6.7	I	35	DO0.4	DO2.4	DO4.4	O
11	DI1.0	DI4.0	DI7.0	I	36	DO0.5	DO2.5	DO4.5	O
12	DI1.1	DI4.1	DI7.1	I	37	DO0.6	DO2.6	DO4.6	O
13	DI1.2	DI4.2	DI7.2	I	38	DO0.7	DO2.7	DO4.7	O
14	DI1.3	DI4.3	DI7.3	I	39	DO1.0	DO3.0	DO5.0	O
15	DI1.4	DI4.4	DI7.4	I	40	DO1.1	DO3.1	DO5.1	O
16	DI1.5	DI4.5	DI7.5	I	41	DO1.2	DO3.2	DO5.2	O
17	DI1.6	DI4.6	DI7.6	I	42	DO1.3	DO3.3	DO5.3	O
18	DI1.7	DI4.7	DI7.7	I	43	DO1.4	DO3.4	DO5.4	O
19	DI2.0	DI5.0	DI8.0	I	44	DO1.5	DO3.5	DO5.5	O
20	DI2.1	DI5.1	DI8.1	I	45	DO1.6	DO3.6	DO5.6	O
21	DI2.2	DI5.2	DI8.2	I	46	DO1.7	DO3.7	DO5.7	O
22	DI2.3	DI5.3	DI8.3	I	47, 49	DOCOM1	DOCOM2	DOCOM3	VI
23	DI2.4	DI5.4	DI8.4	I					
24	DI2.5	DI5.5	DI8.5	I	48, 50	DOCOM1	DOCOM2	DOCOM3	VI
25	DI2.6	DI5.6	DI8.6	I					

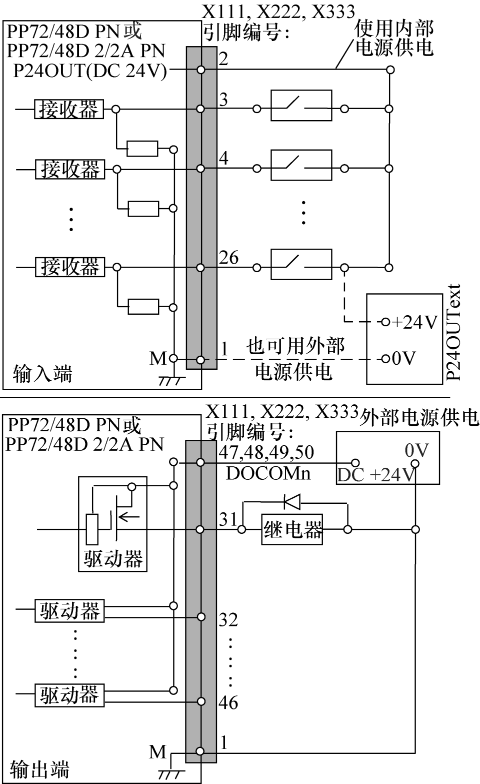


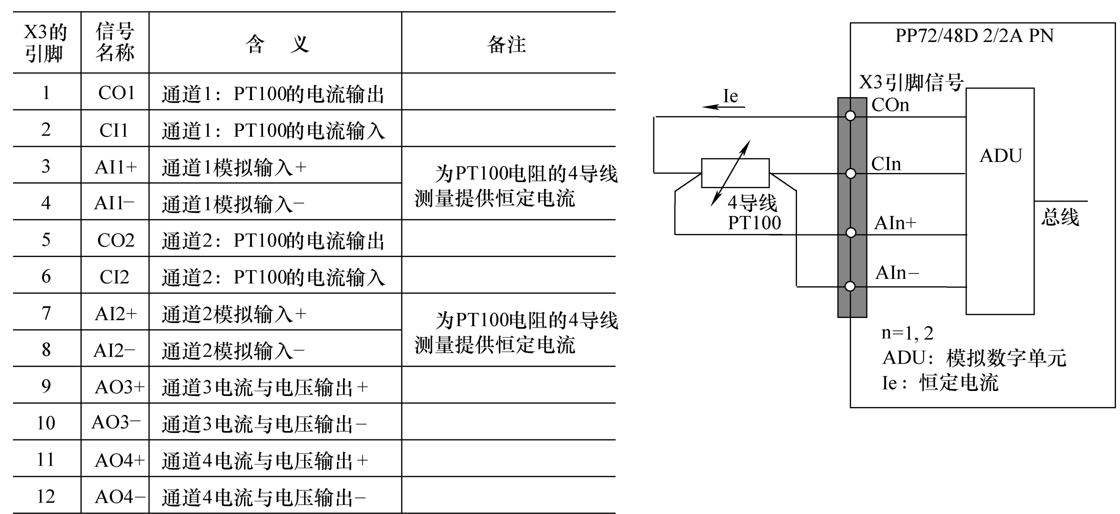
图 1-60 X111、X222 和 X333 接口引脚的布局及输入输出端的连接

注：VI 为电压输入，VO 为电压输出，I 为信号输入，O 为信号输出，GND 为基准电位（接地）。

① 除使用内部电源为数字量输入端供电外，也可使用外部 DC24V 电源为输入端供电。连接时外部电源的基准接地必须与插座 X111、X222 和 X333 的引脚 1（M）连接，同时引脚 2（P24OUT）空置。

② 使用另一个外部 DC24V 电源为数字量输出端供电（最大消耗电流 3×4A）时，插座 X111、X222 和 X333 的引脚 47、48、49、50（DOCOMn）接外部电源的 DC+24V，引脚 1 接外部电源的 0V。

5）X3：为 PP72/48D 2/2A PN 模块上的模拟量输入/输出端，PP72/48D PN 模块没有该端口，属于 12 针插口/插头组合件。用于类似温度采集或控制等模拟量信号的输入或输出，连接时必须使用带屏蔽保护的长度不超过 30m 的屏蔽型电缆，且屏蔽层均接地。X3 接口引脚的布局及输入/输出端的连接如图 1-61 所示。



X3的引脚	信号名称	含　义	备注
1	CO1	通道1：PT100的电流输出	
2	CI1	通道1：PT100的电流输入	
3	AI1+	通道1模拟输入+	为PT100电阻的4导线测量提供恒定电流
4	AI1−	通道1模拟输入−	
5	CO2	通道2：PT100的电流输出	
6	CI2	通道2：PT100的电流输入	
7	AI2+	通道2模拟输入+	为PT100电阻的4导线测量提供恒定电流
8	AI2−	通道2模拟输入−	
9	AO3+	通道3电流与电压输出+	
10	AO3−	通道3电流与电压输出−	
11	AO4+	通道4电流与电压输出+	
12	AO4−	通道4电流与电压输出−	

图 1-61　X3 接口引脚的布局及输入/输出端的连接

注：当用 3 导线连接 PT100 时，应将温度测量 1 通道的引脚 2（CI1）和引脚 4（AI1－）短接，温度测量 2 通道的引脚 6（CI2）和引脚 8（AI2－）短路。

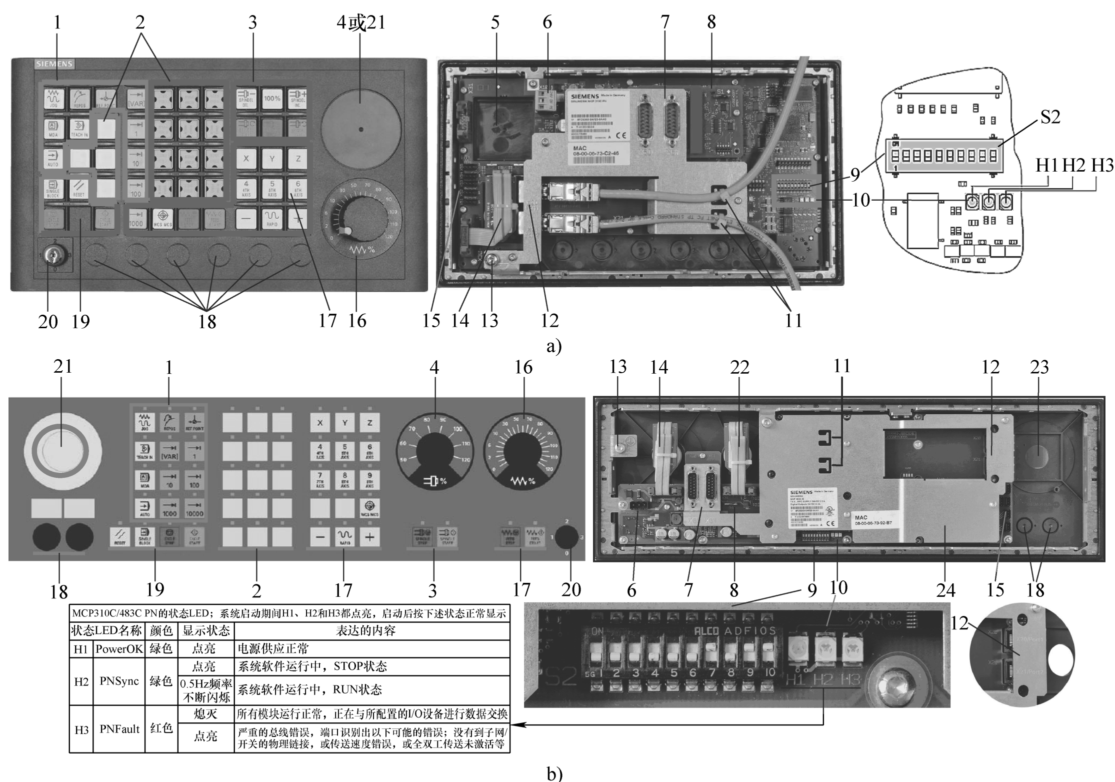
（3）机床控制面板 MCP310C PN 和 MCP483C PN 的接口及其连接　如图 1-62 所示，机床控制面板 MCP310C/483C PN 使用户方便地使用机床的各项功能，它与 828D 的 PPU 组合后用于车床和铣床等数控机床的操作。MCP 上的 50 个带 LED 指示的按键均配有可更换的激光任意刻字的键帽或透明键帽，以适应不同的数控机床。

1）X10：具有 3 针排式端子的 DC24V 电源接口，其中引脚 1 为 24V 端子 P24，2 为接地端子 M24，3 为屏蔽层连接端子 Shield。

2）PLC I/O 接口 X20 和 X21：为基于 ProfiNET 技术的全双工运行（发送并接收数据）的两个 RJ45 接口（X20 为端子 1，X21 为端子 2），通过规格为 6FX2002－1DC00－1□□0（□为电缆长度代码 A～K）且长度不超过 70m 的 SINAMICS DRIVE－CLiQ 信号电缆实现与 PPU（PLC I/O 接口的 PN1 或 PN2）的连接，数据的传输速率为 100Mbit/s（快速以太网）。X20 和 X21 接口的 8 个引脚中 1 为 TxP（发送数据＋），2 为 TxN（发送数据－），3 为 RxP（接收数据＋），6 为 RxN（接收数据－），其他引脚空置。

3）X30 和 X31：分别为进给倍率旋钮开关接口和主轴倍率旋钮开关接口，属于 2×5 针排式端子，分别用于进给倍率旋钮和主轴倍率旋钮的速率修调信号与 MCP 的连接。X30 和 X31 接口的 10 个引脚中 Pin3 为 M（接地），Pin5 为 P5（DC5V 供应），Pin6、Pin7、Pin8、Pin9 和 Pin10 分别为倍率修调旋钮开关位置值的 bit16、bit8、bit4、bit2 和 bit1，Pin1、Pin2 与 Pin4 空置。

4）X51～X55：可选用户定义键的输入端接口和输出端接口，属于 4 针排式端子。其中 X51 和 X52 是用户专用的输入端接口，用于连接 MCP 的发光按键；X53 是用户专用的输入端接口，用于连接小型手持设备；X53 和 X54 是用户专用的防短路输出端接口，用于连接控制按键中的指示灯（如 24V/1.2W）。X51～X55 接口的电路原理图和引脚布局如图 1-63 所示。



MCP310C/483C PN的状态LED；系统启动期间H1、H2和H3都点亮，启动后按下述状态正常显示				
状态LED名称		颜色	显示状态	表达的内容
H1	PowerOK	绿色	点亮	电源供应正常
H2	PNSync	绿色	点亮	系统软件运行中，STOP状态
			0.5Hz频率不断闪烁	系统软件运行中，RUN状态
H3	PNFault	红色	熄灭	所有模块运行正常，正在与所配置的I/O设备进行数据交换
			点亮	严重的总线错误，端口识别出以下可能的错误：没有到子网/开关的物理链接，或传送速度错误，或全双工传送未激活等

图 1-62　机床控制面板 MCP310C/483C PN 的正面图和后面图

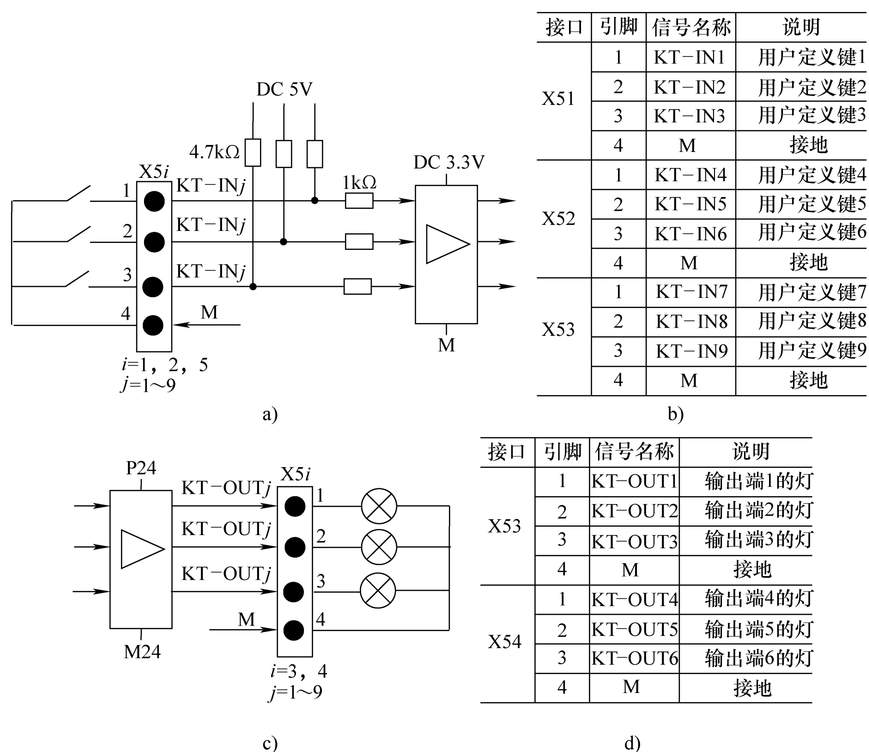
a）MCP310C PN 的正面图和背面图　b）MCP483C PN 的正面图和背面图

1—工作方式键和机床功能键　2—用户定义键（15 或 16 个）　3—主轴控制　4—主轴倍率旋钮开关（16 挡）
5—急停按钮或主轴倍率旋钮开关的安装位置　6—电源接口 X10　7—预留接口 X60/X61
8—预留开关 S1　9—MCP 地址开关 S2　10—3 个状态 LED　11—以太网电缆的调节环
12—PLC I/O 接口 X20/X21（端口 1/2）　13—电位平衡（M5 螺钉）　14—进给倍率旋钮开关接口 X30
15—用户专用输入/输出端接口 X51 ~ X55　16—进给倍率旋钮开关（23 挡）　17—进给控制
18—附加指令设备的安装开孔（直径 16mm）　19—程序控制按键　20—4 位置钥匙开关
21—急停按钮　22—主轴倍率旋钮开关接口 X31　23—急停按钮的安装位置　24—盖板

5）10 位的 DIP 开关 S2：在 MCP310C/483C PN 与 828D 的 PPU 连接时，为 MCP 分配一个正确的 ProfiNET 地址“64”（见图 1-64）以实现通信，新设定的 ProfiNET 地址仅在电源断开/接通时生效。设定了 ProfiNET 地址的 MCP 还需将机床数据 MD12986［6］和 MD12987［6］设定为 -1，以激活 MCP 传输数据至 PLC 的输入/输出映像区。

（4）小型手持单元（Mini HHU）与 PPU 的连接　小型手持单元（见图 1-65）是 SINUMERIK 系统中一种小型通用手动操作设备，它通过内置吸持磁铁固定在金属表面上并与 MCP310C/483C PN 一起工作，用于车间范围内简单数控机床的调试和操作。828D 系统通过 PPU 的 X143 接口最多可连接 2 个小型手持单元。当设定机床数据 MD12986［6］（PLC_DEACT_IMAGE_LADDR_IN）= -1 后，小型手持单元通过标准地址发出响应，手轮数据并行传输至 NCK 并由其直接进行处理。小型手持单元经金属法兰插座与 MCP 和 PPU 的连接如图 1-66 所示。

（5）GSM 调制解调器 SINAUT MD720 - 3 与 PPU 的连接（见图 1-67）　828D 系统通过选配一个基于 GSM 移动通信标准的调制解调器 SINAUT MD720 - 3，可实现移动电话的 SMS 通信，如机床故障信息、设备运行状态、刀具磨损极限和测量结果等。连接时，需在 GSM 调制解调器内安装 SIM 卡（后续章节介绍），将天线 ANT794 - 4MR 放置在数控机床的合适位置且电缆长度不



接口	引脚	信号名称	说明
X51	1	KT−IN1	用户定义键1
	2	KT−IN2	用户定义键2
	3	KT−IN3	用户定义键3
	4	M	接地
X52	1	KT−IN4	用户定义键4
	2	KT−IN5	用户定义键5
	3	KT−IN6	用户定义键6
	4	M	接地
X53	1	KT−IN7	用户定义键7
	2	KT−IN8	用户定义键8
	3	KT−IN9	用户定义键9
	4	M	接地

b)

接口	引脚	信号名称	说明
X53	1	KT−OUT1	输出端1的灯
	2	KT−OUT2	输出端2的灯
	3	KT−OUT3	输出端3的灯
	4	M	接地
X54	1	KT−OUT4	输出端4的灯
	2	KT−OUT5	输出端5的灯
	3	KT−OUT6	输出端6的灯
	4	M	接地

d)

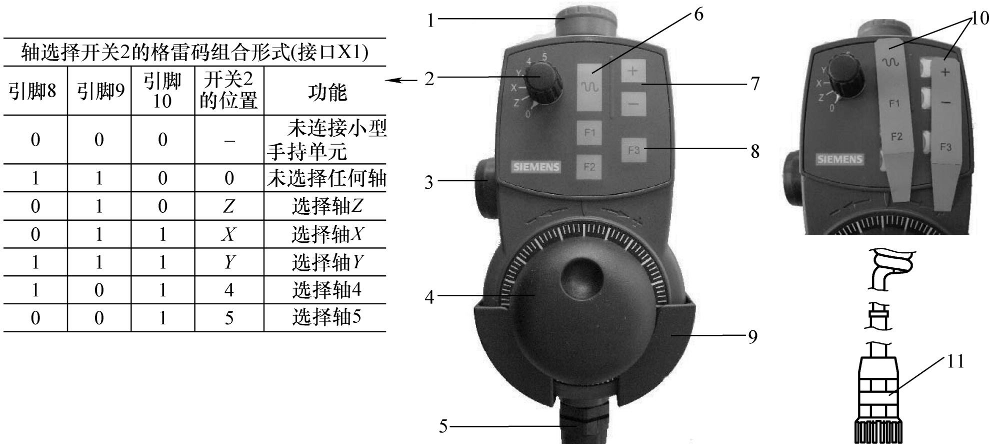
图 1-63　X51 ~ X55 接口的电路原理图和引脚布局

a）X51、X52 和 X55 的电路原理图　b）X51、X52 和 X55 的引脚布局

c）X53 和 X54 的电路原理图　d）X53 和 X54 的引脚布局

ProfiNET地址开关S2的设定(务必按此设定，否则不能通信)									
位1	位2	位3	位4	位5	位6	位7	位8	位9	位10
$2^0=1$	$2^1=2$	$2^2=4$	$2^3=8$	$2^4=16$	$2^5=32$	$2^6=64$	$2^7=128$	始终为ON以保障ProfiNET	
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF		

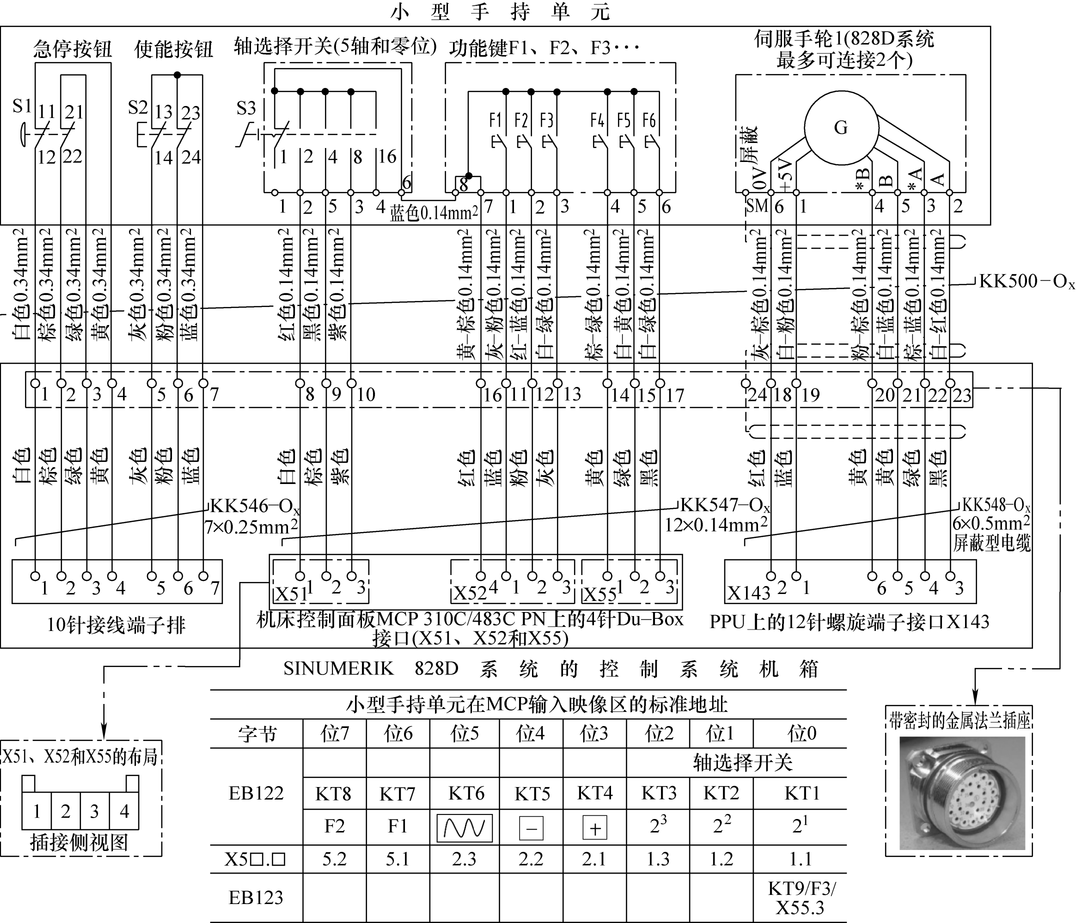
图 1-64　MCP 在 828D 系统中的地址设定



轴选择开关2的格雷码组合形式(接口X1)				
引脚8	引脚9	引脚10	开关2的位置	功能
0	0	0	−	未连接小型手持单元
1	1	0	0	未选择任何轴
0	1	0	*Z*	选择轴*Z*
0	1	1	*X*	选择轴*X*
1	1	1	*Y*	选择轴*Y*
1	0	1	4	选择轴4
0	0	1	5	选择轴5

图 1-65　小型手持单元的外形图

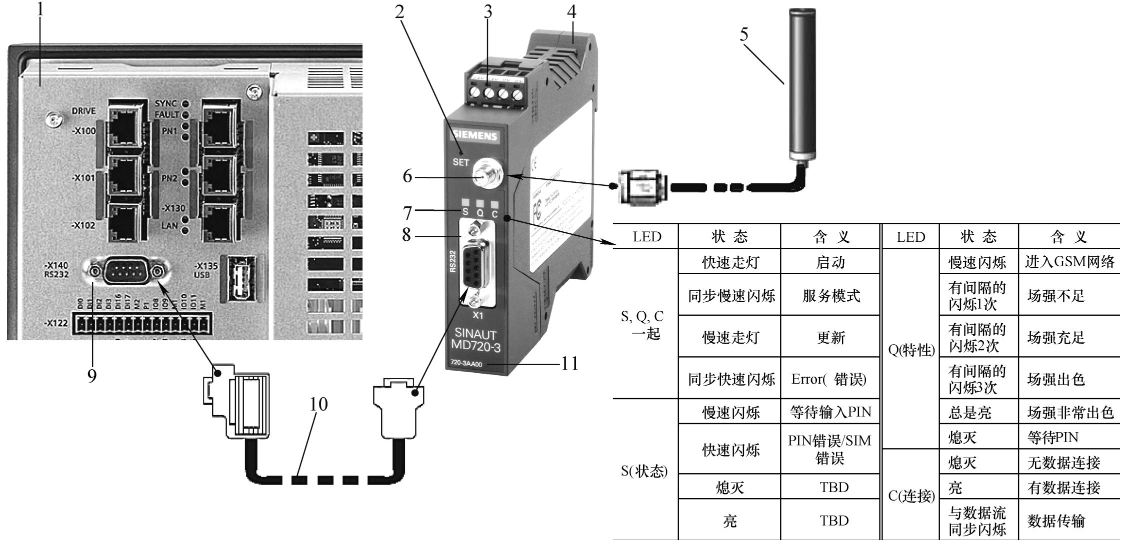
1—急停按钮　2—轴选择开关（5 轴和零位）　3—双通道三步式使能按钮　4—伺服手轮
5—螺旋形连接导线（X1）　6—快速移动按键　7—运行方向键 +/−　8—功能键 F1/F2/F3
9—半圆形保护盖（可选件）　10—匹配按键字的抽拉条　11—带锁紧螺母的 26 针插头



小型手持单元在MCP输入映像区的标准地址

字节	位7	位6	位5	位4	位3	位2	位1	位0
EB122						轴选择开关		
	KT8	KT7	KT6	KT5	KT4	KT3	KT2	KT1
	F2	F1	(波形符号)	−	+	2^3	2^2	2^1
X5□.□	5.2	5.1	2.3	2.2	2.1	1.3	1.2	1.1
EB123								KT9/F3/X55.3

图 1-66 小型手持单元与 MCP 和 PPU 的连接



LED	状态	含义	LED	状态	含义
S, Q, C 一起	快速走灯	启动	Q(特性)	慢速闪烁	进入GSM网络
	同步慢速闪烁	服务模式		有间隔的闪烁1次	场强不足
	慢速走灯	更新		有间隔的闪烁2次	场强充足
	同步快速闪烁	Error(错误)		有间隔的闪烁3次	场强出色
S(状态)	慢速闪烁	等待输入PIN		总是亮	场强非常出色
	快速闪烁	PIN错误/SIM错误		熄灭	等待PIN
	快速闪烁	PIN错误/SIM错误	C(连接)	熄灭	无数据连接
	熄灭	TBD		亮	有数据连接
	亮	TBD		与数据流同步闪烁	数据传输

图 1-67 GSM 调制解调器 SINAUT MD720-3 与 PPU 的连接

1—PPU26x.2/28x.2（x=0 为垂直型，x=1 为水平型）的背面 2—服务功能的 SET 键 3—DC24V 电源接口 4—SINAUT MD720-3 模块 5—天线 ANT794-4MR 6—天线接口 7—LED 显示（S 状态，Q 特性，C 连接） 8—9 针 RS232 接口 X1 9—9 针 D-Sub 插头 X140 10—调制解调器电缆 6NH7701-5AN（≤3m） 11—调制解调器订货号

超过 3m（获取最佳的发送/接收性能），SINAUT MD720－3 模块选择终端模式（Terminal）且使用 AT 指令通过终端程序（如 Windows 超级终端等）正确设置 SIM 卡的 PIN。注意：终端模式下 SINAUT MD720－3 无法保存 SIM 卡的 PIN，因此每次启动后都必须重新设置（COM 端口，传输速度为 9600 bit/s，数据位为 8，奇偶校验为 No，终止位为 1，全双工/FULL 方式）。

（6）SINUMERIK 828D 系统及组件的连接　如图 1-68 所示。

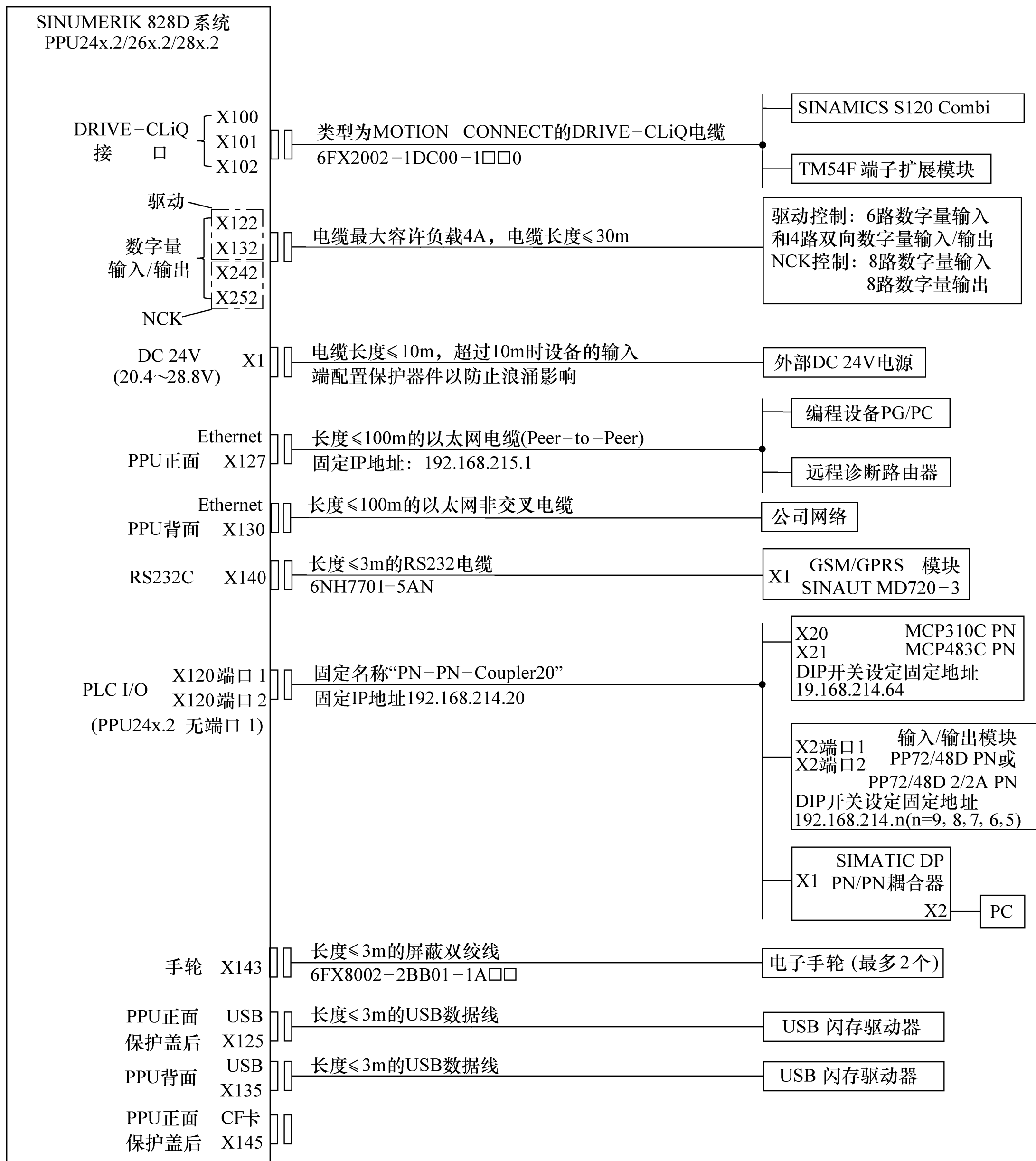


图 1-68　SINUMERIK 828D 系统及组件的连接图

1.6.3　SINUMERIK 828D 系统报警及故障维修

1. 828D 系统的自诊断报警

（1）自诊断报警的分类　SINUMERIK 828D 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、ProfiNET 报

警、PLC 报警、HMI 报警、SINAMICS 报警五大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（见表 1-29）。

表 1-29　SINUMERIK 828D 系统自诊断报警的分类

序号	报警分类		报警号范围
1	NC 报警	一般报警	002 000 ~ 009 999
		通道报警	010 000 ~ 019 999
		进给轴/主轴报警	020 000 ~ 029 999
		安全集成报警	027 000 ~ 027 999
		功能报警	030 000 ~ 099 999
		SIEMENS 循环报警	060 000 ~ 064 999
		用户循环报警	065 000 ~ 069 999
		制造商和 OEM 编译循环报警	070 000 ~ 079 999
		ShopMill 和 CMT 循环显示信息	082 000 ~ 082 999
		测量循环显示信息	083 000 ~ 084 999
		用户循环显示信息	085 000 ~ 089 999
2	ProfiNET 报警		380 000 ~ 380 503
3	PLC 报警	一般报警	400 000 ~ 499 999
		通道报警（机床制造商设计并说明）	500 000 ~ 599 999
		进给轴/主轴报警（机床制造商设计并说明）	600 000 ~ 699 999
		用户范围（机床制造商设计并说明）	700 000 ~ 799 999
		流程/图表（机床制造商设计并说明）	800 000 ~ 899 999
		PLC 系统故障信息（机床制造商设计并说明）	810 001 ~ 810 009
4	HMI 报警	基本系统	100 000 ~ 100 999
		诊断	101 000 ~ 101 999
		通信	102 000 ~ 102 999
		加工	103 000 ~ 103 999
		参数	104 000 ~ 104 999
		编程	105 000 ~ 105 999
		备用	106 000 ~ 106 999
		MCU	107 000 ~ 107 999
		HiGraph	108 000 ~ 108 999
		分布式系统（M：N）	109 000 ~ 109 999
		循环	110 000 ~ 110 999
		Wizard（向导）	113 000 ~ 113 999
		手持单元 HT6	114 000 ~ 114 999
		OEM	119 000 ~ 119 999
		高级 HMI 报警	120 000 ~ 129 999
4	HMI 报警	高级 HMI OEM	130 000 ~ 139 999
		远程诊断（RCS Host/Viewer）	142 000 ~ 142 099
		MCIS	148 500 ~ 148 999
		ePS	149 000 ~ 149 999
		SINUMERIK 操作	150 000 ~ 159 999
		SINUMERIK 操作 OEM	160 000 ~ 169 999
5	SINAMICS 报警	控制单元，闭环控制	201 000 ~ 203 999
		安全集成	201 600 ~ 201 799
		备用	204 000 ~ 204 999
		电动机模块	205 000 ~ 205 999
		电源模块	206 000 ~ 206 899
		制动模块	206 900 ~ 206 999
		驱动部分	207 000 ~ 207 999
		选件板	208 000 ~ 208 999
		备用	209 000 ~ 212 999
		授权	213 000 ~ 213 010
		备用	213 011 ~ 219 999
		OEM	220 000 ~ 229 999
		DRIVE - CLiQ 电动机模块	230 000 ~ 230 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 1	231 000 ~ 231 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 2	232 000 ~ 232 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 3	233 000 ~ 233 999
		电压传感器模块（VSM）	234 000 ~ 234 999
		端子模块 TM54F	235 000 ~ 235 199
		端子模块 TM31	235 200 ~ 235 999
		DRIVE - CLiQ 集线器模块	236 000 ~ 236 999
		控制器扩展	240 000 ~ 240 999
		备用	241 000 ~ 248 999
		SINAMICS GM/SM/GL	249 000 ~ 249 999
		通信板 Comm. Board	250 000 ~ 250 499
		OEM	250 500 ~ 259 999
		SINAMICS DC 变频（闭环直流电流控制）	260 000 ~ 265 535

（2）系统报警　报警#1000、#1001、#1002、#1003、#1005、#1010、#1011、#1012、#1013、#1014、#1015、#1016、#1017、#1018 和#1019 及#1160 属于 NC 报警中的系统报警，用于反映 SINUMERIK 828D 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。828D 系统报警及其处理方法可参考表 1-14。除此之外，还可借助 PPU 面板用户接口（侧面）保护盖后的 3 个 LED（RDY、NC、CF）、PPU 背面

PLC I/O 接口旁的 4 个 LED（红色 Link、黄色 Activity、红色 Fault 和绿色 Sync）和外设模块 PP72/48D PN 或 PP72/48D 2/2A PN 的 X2 接口旁的 2 个 LED（红色 Link、黄色 Activity）等，来判定 SINUMERIK 828D 系统的故障并排除。

2. PPU 自引导启动 CF 卡的更换

在 828D 系统 PPU 背面右上角的金属盖板后有一个 50 芯的 CF 卡插槽，内插一张型号为 6FC5313－5AG00－0AA1/1GB 的自引导启动存储卡，该 CF 卡上保存了 PPU 运行所必需的系统软件（基础型软件、SINAMICS 固件和版本信息及许可证密码）。一旦自引导启动 CF 卡的硬件发生故障，将影响 PPU 的正常运行，此时必须更换该 CF 卡以恢复系统。自引导启动 CF 卡的详细更换过程如图 1-69 所示。注意：接触 CF 卡前应先接触电控柜或接地端子以释放静电，务必在零电流状态下插拔 CF 卡。

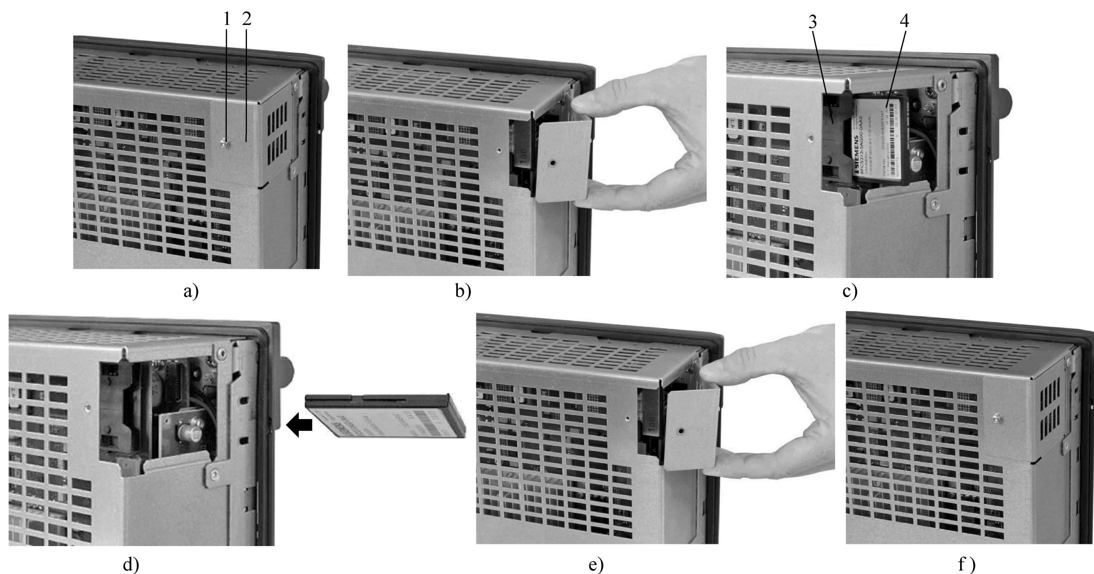


图 1-69　PPU 自引导启动 CF 卡的更换过程

a）切断电源后松开螺钉 M3　b）拆掉金属盖板　c）沿侧边拔出 CF 卡　d）轻轻用力插入 CF 卡至完全嵌入
e）固定金属盖板至右侧卡入和左侧压下　f）以最大 0.8N·m 的转矩拧紧螺钉 M3
1—螺钉 M3　2—金属盖板　3—CF 卡插槽　4—自引导启动 CF 卡

3. 机床控制面板上旋钮开关的更换

在 MDA 模式或 Auto 自动运行模式下，操作人员或维修人员可使用 MCP310C/483C PN 上的主轴倍率旋钮开关和进给倍率旋钮开关来分别控制主轴和进给轴的实际速度（通过旋钮开关选择的百分比来增加或减少主轴和进给轴的编程速度）。如程序设定主轴速度 1000r/min 时，主轴倍率旋钮开关选择 80%，则主轴实际转速为 1000r/min × 80% = 800r/min。

当倍率旋钮开关出现断线或自身损坏等故障时，将不能继续修调主轴和进给轴的编程速度，此时应及时更换故障旋钮开关。下面以主轴倍率旋钮开关为例，详细介绍旋钮开关的拆卸和安装过程（见图 1-70）。

1）旋钮开关的拆卸：取下旋钮 4 的顶盖 5（卡扣式连接）→用宽 10mm 的扳手松开夹紧件的螺母 3→拔出整个旋钮 4→用宽 14mm 的扳手松开旋钮立柱 6 上的固定螺母 7→从插座 15 中拔出旋钮开关电缆末端的插头 11→取出旋钮开关。

2）新旋钮开关的安装：将 O 形环 9 作为密封圈套在新旋钮开关的立柱 6 上→将旋钮开关卡入正面的开口中并压紧 O 形环→用宽 14mm 的扳手以 3N·m 的转矩从正面拧紧旋钮开关立柱 6

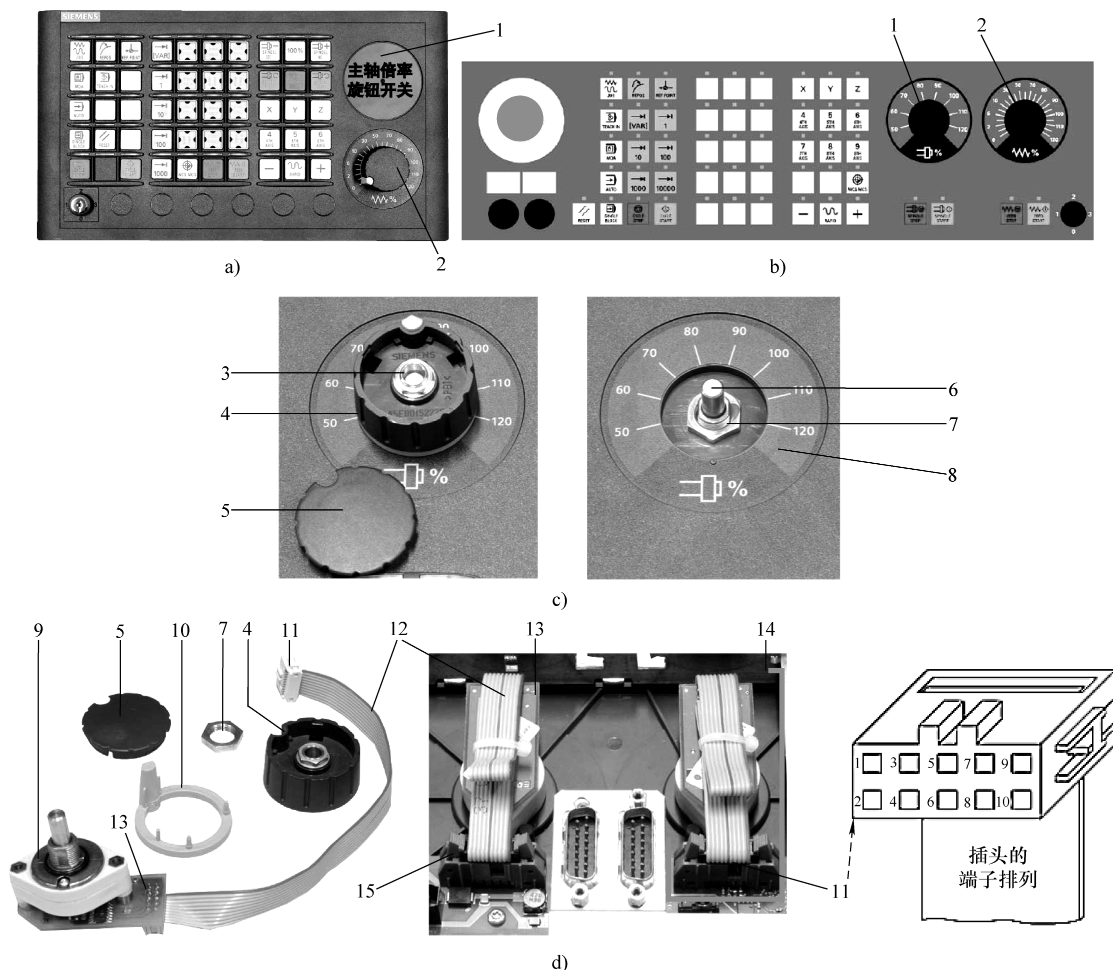


图 1-70　MCP310C/483C PN 上倍率旋钮开关的更换过程

a）MCP310C PN 实物　b）MCP483C PN 实物　c）旋钮开关的拆卸　d）旋钮开关的安装

1—主轴倍率旋钮开关　2—进给倍率旋钮开关　3—夹紧螺母　4—旋钮　5—顶盖

6—旋钮开关立柱　7—固定螺母　8—刻度盘　9—O 形环　10—指示环　11—连接插头

12—连接导线　13—连接电路板　14—第 2 个旋钮开关的背面　15—与插头耦合的插座

上的固定螺母 7→将指示环 10 卡入旋钮 4 后套在旋钮开关立柱 6 上→旋转指示环 10 使其箭头对准度盘的 0 位置→用 10mm 的扳手以 2N · m 的转矩拧紧夹紧螺母 3→顶盖 5 卡在旋钮 4 上→按插头端子排列顺序连接并固定导线 12→MDA 模式下编程控制主轴旋转并选择几个百分比（%），观察屏幕上的主轴实际速率与主轴倍率修调速率是否一致→一致则更换完毕→按相同步骤安装进给倍率旋钮开关即可。

4. GSM 调制解调器中 SIM 卡的安装

SINUMERIK 828D 系统选配一个基于 GSM 移动通信标准的调制解调器 SINAUT MD720 - 3，可实现移动电话的 SMS 通信（如机床故障信息、设备运行状态、刀具磨损极限和测量结果等）。但前提条件是在切断 SINAUT MD720 - 3 的电源后并将其外壳打开，然后插入一张 SIM 卡（3V）。SIM 卡的安装过程如图 1-71 所示。



图 1-71　GSM 调制解调器中 SIM 卡的安装过程

1.7　SINUMERIK 840D power line 系统

SINUMERIK 840D power line（下称 840D）是西门子公司在 1994 年 6 月正式推出的一款基于 Windows 操作平台的高性能开放式数控系统，它不仅保持了以往 SINUMERIK 880 和 840C 系统的独立而又相互支持的三 CPU 结构（人机通信 CPU、数字控制 CPU 和可编程序逻辑控制器 CPU，即 MMC－CPU、NC－CPU 和 PLC－CPU），还可在复杂的系统平台上通过系统设定后实现各种复杂加工任务的控制（如车削、钻削、铣削和磨削，及剪切、冲压和激光加工等特殊控制）。具有开放式设计特点的 840D 系统不仅可满足机床制造商根据自己的特殊需求和操作方式而进行人机界面和操作编程等方面的二次开发要求，还可使用 C＋＋等系统开发工具对用户指定的系统循环和功能宏调用进行相应调整，以扩大 840D 系统的加工适应性，主要具有 Auto（自动）、JOG、TEACH IN（示教）、MDA 等操作方式和样条插补、程序段预处理、FRAME（坐标系变换）、压缩器（将线性程序段转为样条处理）等功能。相对于前几代数控系统，840D 具有驱动数字化、硬件高度集成化和模块化等显著特点（见表 1-30）。

表 1-30 SINUMERIK 840D 系统的功能特点

序号	功能类型	特点描述
1	驱动数字化	以往系统的数控与驱动的接口信号是给定电压的模拟量和驱动使能、脉冲使能等开关量，而 840D 中数控与驱动的接口信号是数字量，且通过驱动总线接口挂接 SIMODRIVE611D 数字式交流伺服驱动模块
2	轴控规模大	最多可控制 31 个坐标轴，最多 10 个加工通道和 10 个方式组
3	可五轴联动	五轴联动控制是数控系统功能强弱的主要评价指标，840D 可实现 *X*、*Y*、*Z*、*A*、*B* 五轴联动从而加工任何三维空间曲面
4	操作系统视窗化	以往系统采用数控操作平台或应用 DR－DOS 平台，而 840D 是基于 Windows 操作平台的，可实现操作系统视窗化，从而使操作更加简单、灵活
5	软件内容丰富，功能强大	可实现加工（Machine）、参数设置（Parameter）、服务（Services）和诊断（Diagnosis）及安装启动（Start－up）等几大软件功能
6	具有远程诊断功能	通过电话线实现 840D 与异域计算机通信，以完成机床 PLC 程序修改和机床状态监控等远程控制任务
7	保护功能健全	840D 系统软件分为西门子服务级、机床制造商级和最终用户级等 7 个软件保护等级，使系统更加安全可靠
8	硬件高度集成化	840D 不仅将 NC－CPU 和 PLC－CPU 合为一体（称为 NCU），还采用了大量超大规模的集成电路，从而提高了系统硬件的集成度和可靠性
9	模块化设计	840D 的硬件系统根据功能和作用而被划分为不同的功能模块（如伺服驱动模块），使系统的连接更加简单和紧凑；840D 的软件系统也根据功能而被划分成若干个功能模块，从而实现软件模块化
10	内装大容量 PLC	老式数控系统一般不内装 PLC，即使内装也仅是小容量的点对点通信，不能实现大规模控制。而 840D 系统的内装 PLC 不仅最大可扩展 2048 个输入点和 2048 个输出点，还采用 Profibus 现场总线和 MPI 多点接口通信协议可大量减少现场布线。840D 内装 PLC 的内存容量最小为 96KB、最大为 768KB，其中央处理单元的型号有 CPU314C－20P、CPU315－20P 和 CPU317－20P 三种
11	计算机化	数控发展经历了以往的 NC 数控和 CNC 数控及现在的计算机化，目前数控系统的计算机化已成为现代数控技术的一个发展方向。840D 系统的三化（计算机化、驱动模块化、控制与驱动接口的数字化）使其成为高端数控系统的首选

1.7.1 SINUMERIK 840D power line 的结构组成

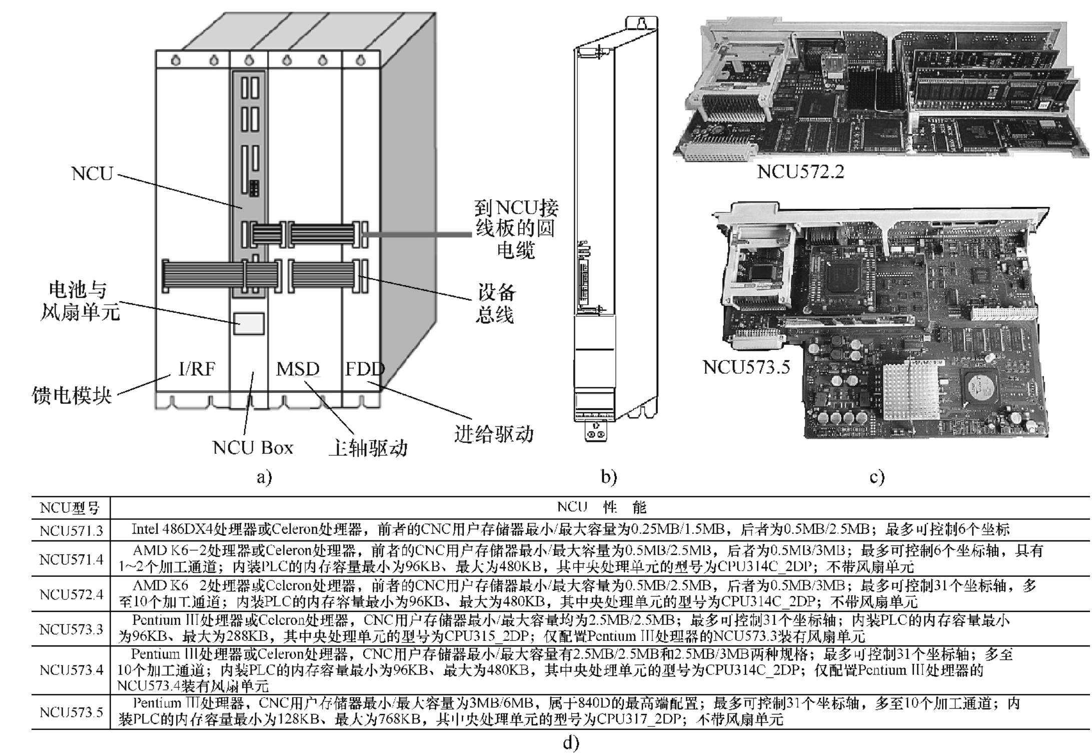
（1）840D 系统的硬件 包括数控装置（NC－CPU 和 PLC－CPU）、人机界面、数字式交流伺服模块 SIMODRIVE 611D 和 SIMATIC S7－300 I/O 模块及伺服电缆等部分。SINUMERIK 840D 系统的硬件组成如图 1-72 所示。



图 1-72　SINUMERIK 840D 系统的硬件组成

1）数控装置（见图 1-73）：是 840D 的中央控制单元，位于 SIMODRIVE 电源模块和第一块 611D 驱动模块之间，由带电池、风扇单元和直流母线的 NCU Box 及装有高性能多处理器的 NCU 控制板两部分组成。其中厚度较薄的紧凑型 NCU Box 主要用于内外风扇运转的检测、锂电池电压的检

测、电容充电、NCU 复位控制和 5V 供电输出及电源 OK 的输出。集成了 NC－CPU 和 PLC－CPU 的 NCU 控制板上安装有用于机床监控的且与 S7－300 系列产品兼容的 PLC 子模块（经由外设总线可连接 3 个外部线路且每个线路对应于 8 块 S7－300 外设模块板），用于支持 NC－CPU 与 PCU/MMC 和外设通信的 COM 子模块，用于连接操作面板、编程器、分散外设和 S7－300 外设的驱动子模块，用于 NCU 和数字化模块之间进行数据交换的 RS422 子模块，以及用于多个 NCU573.2/.3/.4 之间进行附加数据交换的规格为 6FC5212－0AA01－1AA0 的 Link 子模块（可选件）。



NCU型号	NCU 性能
NCU571.3	Intel 486DX4处理器或Celeron处理器，前者的CNC用户存储器最小/最大容量为0.25MB/1.5MB，后者为0.5MB/2.5MB；最多可控制6个坐标
NCU571.4	AMD K6−2处理器或Celeron处理器，前者的CNC用户存储器最小/最大容量为0.5MB/2.5MB，后者为0.5MB/3MB；最多可控制6个坐标轴，具有1~2个加工通道；内装PLC的内存容量最小为96KB、最大为480KB，其中央处理单元的型号为CPU314C_2DP；不带风扇单元
NCU572.4	AMD K6 2处理器或Celeron处理器，前者的CNC用户存储器最小/最大容量为0.5MB/2.5MB，后者为0.5MB/3MB；最多可控制31个坐标轴，多至10个加工通道；内装PLC的内存容量最小为96KB、最大为480KB，其中央处理单元的型号为CPU314C_2DP；不带风扇单元
NCU573.3	Pentium Ⅲ处理器或Celeron处理器，CNC用户存储器最小/最大容量均为2.5MB/2.5MB；最多可控制31个坐标轴；内装PLC的内存容量最小为96KB、最大为288KB，其中央处理单元的型号为CPU315_2DP；仅配置Pentium Ⅲ处理器的NCU573.3装有风扇单元
NCU573.4	Pentium Ⅲ处理器或Celeron处理器，CNC用户存储器最小/最大容量有2.5MB/2.5MB和2.5MB/3MB两种规格；最多可控制31个坐标轴；多至10个加工通道；内装PLC的内存容量最小为96KB、最大为480KB，其中央处理单元的型号为CPU314C_2DP；仅配置Pentium Ⅲ处理器的NCU573.4装有风扇单元
NCU573.5	Pentium Ⅲ处理器，CNC用户存储器最小/最大容量为3MB/6MB，属于840D的最高端配置；最多可控制31个坐标轴，多至10个加工通道；内装PLC的内存容量最小为128KB、最大为768KB，其中央处理单元的型号为CPU317_2DP；不带风扇单元

d)

图 1-73 SINUMERIK 840D 的 NCU 模块组成

a）NCU 的布置图 b）NCU Box c）NCU 实物 d）不同型号的 NCU 性能

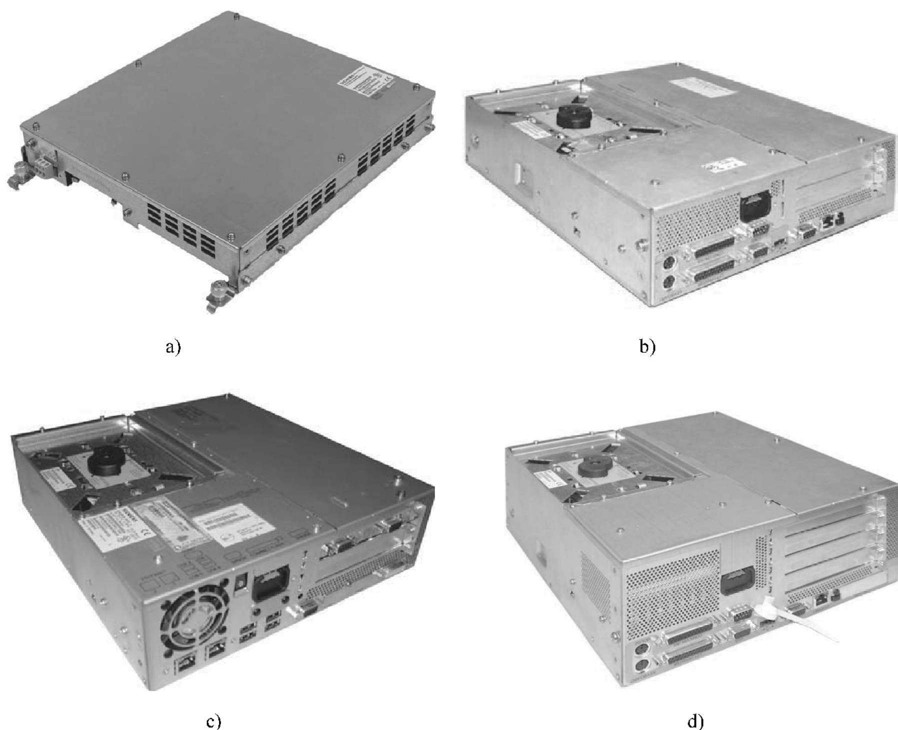
根据选用硬件（如 CPU 芯片等）和功能配置的不同，NCU 可分为 NCU561.4、NCU571.4、NCU572.4 和 NCU573.5 等型号并具有不同的性能特点。840D 的 NCU 模块不仅可以连接 OP 单元、B－MPI 手持单元/小型手持单元/手持终端 HT6、MCP、S7－300 I/O 模块和 EFP 模块及具有 DMP 紧凑模块的 NCU 终端块，还可经由电缆分配器连接 2 个手轮、2 个传感器测头和 4 路快速 NCK I/O 以及经由 Profibus－DP 连接的分布式 PLC I/O 等。

2）人机界面（HMI）：主要包括操作面板（OP）、PCU 和机床控制面板（MCP）及一些手持单元（HHU）或手持终端 HT6 等。

① OP 单元：一般包括一个 10/12/15/19inTFT 显示屏和一个 NC 键盘，相当于工业计算机的显示器和键盘鼠标。其作用是显示数据和图形并提供人机显示界面，可实现程序和参数的编辑、修改及软键等操作。根据用户要求，可选择配置中早期的 OP030、OP031、OP032 或新一代的 OP010、OP010S、OP010C、OP012、OP015 等不同的 OP 单元。OP 单元的类型及特点参见表 1-15。

② PCU（中早期时为 MMC）：实际上就是一台带有 MPI 等接口的工业计算机，它有自己独立的 CPU，可带硬盘和软驱。OP 单元是这台计算机的显示器，且 PCU 的控制软件（早期 Win32、中期 Win95、现在 WinNT/WinXP/Win7）被安装在这台计算机中。PCU 是专门为配合西门子

OP010、OP010S、OP010C、OP012 和 OP015 等新一代操作面板而开发的模块，目前有 PCU20、PCU50 和 PCU70 等 PCU 模块（见图1-74）。其中，PCU20（对应早期不带硬盘的 MMC100.2）不带硬盘而带软驱，装载嵌入式 HMI；PCU50 和 PCU70 对应于中早期的带硬盘的 MMC103，可带硬盘且装载高级 HMI。通常 840D 系统选配 PCU50 或 PCU50.3，810D 系统选配 PCU20。



a)　b)　c)　d)

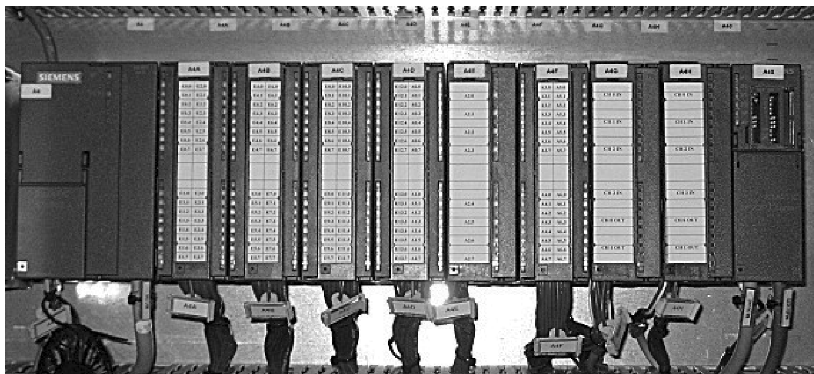
图1-74　不同类型的 PCU 模块实物图
a）PCU20　b）PCU50　c）PCU50.3　d）PCU70

③ MCP：是专门为数控机床配置的机床控制面板，它是传输速率为 187.5kbit/s 的 MPI 总线上的一个节点。840D 的 NCU 除使用 MPI 总线接口外，还可应用传输速率为 1.5Mbit/s 的 OPI 总线接口（属于 MPI 接口协议的一种），以提高人机交互效率。根据应用场合不同，MCP 的布局也不同，目前有车床版 MCP 和铣床版 MCP 两种。MCP 在 OPI 总线上的默认地址为6（810D 的 MPI 总线地址为14），由 MCP 后面的 S3 开关设定。

3）数字式交流伺服模块 SIMODRIVE 611D：是 840D 系统的标配部件，分为单轴模块和双轴模块两种规格，主要包括电源模块（亦称馈电模块）、驱动功率模块和控制单元等组件。电源模块主要为 NC 和驱动功率模块提供控制和动力电源，以产生母线电压，同时检测模块自身的工作状态。根据能量流动方式，可将其分为不带馈电功能的 UI 模块和带馈电装置 I/RF 模块两种。驱动功率模块为伺服电动机和主轴电动机提供频率和电压可变的交流电源。SIMODRIVE 611D 可连接 1FT6/1FT7、1FK7/1FN3/1FW6 等系列伺服电动机和 1PH7/1PH8 系列主轴电动机，编码器的信号为 1Vpp 正弦波形式，能够实现伺服系统的全闭环控制。安装时各模块的顺序自左向右依次为 UI 或 I/RF 电源模块、NCU 模块、主轴驱动模块（通常进口机床配置主轴驱动模块，而国产机床采用变频器控制）和进给轴模块。

4）PLC 的 I/O 模块：840D 系统的 PLC 软件为 SIMATIC S7－300，其 I/O 模块在同一条导轨（机架）上从左到右依次为电源模块（PS）、接口模块（IM）和信号模块（SM），如图 1-75 所示。其中，PS 为 PLC 和 NC 提供 DC＋24V 和 DC＋5V 电压，IM 用于各级之间的互连，SM 用于

机床 PLC 输入/输出模块（有输入型和输出型两种）。与 NC－CPU 同时集成于 NCU 中的 S7－300 PLC－CPU 有带计数、频率测量和脉冲宽度调制功能的紧凑型 CPU314C－2DP，标准型 CPU315－2DP 和高端 CPU317－2DP 等。通常一个机架上最多可安装 8 个 SM 模块且最多扩展 4 个机架。



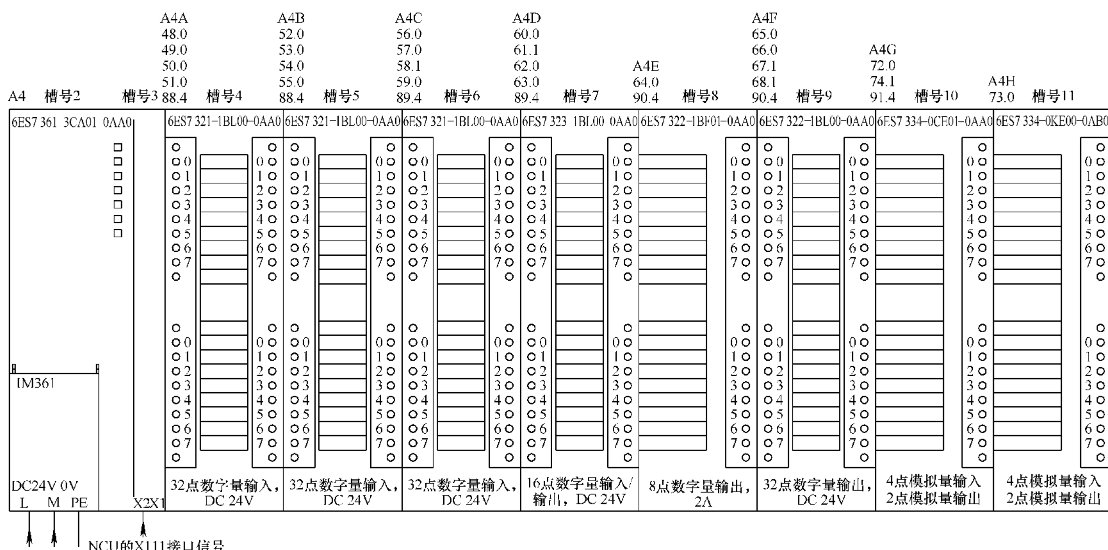


图 1-75 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机中 S7－300 各模块的布置图

5）伺服电缆（见图 1-76）：除电动机编码器的信号电缆和电动机的动力电缆外，还有 PCU 至 MCP 和 NCU 模块的 MPI 双芯屏蔽电缆，B－MPI 手持单元/小型手持单元/手持终端 HT6 至 NCU 模块的 MPI 双芯屏蔽电缆，外设 PG/PC 至 NCU 模块的 MPI 双芯屏蔽电缆，以及 S7－300 PLC 与 NCU 模块连接的 Profibus 双芯屏蔽电缆等。也就是说，840D 系统的 PCU/MMC 和 HHU/HT6 及 MCP 均通过一根 MPI 双芯屏蔽总线电缆采取 OPI 通信协议挂接在 NCU 模块上，这样做的目的是为了提高 840D 系统的数据传输速率，以加快人机交互效率。840D 系统采用的 OPI 通信协议是 MPI 多点通信协议的一个特例，与传输速率为 187.5kbit/s 且具有开放性的 MPI 通信相比，OPI 通信的传输速率为 1.5Mbit/s 且不具有开放性。840D 系统中各操作部件的 OPI 总线连接如图 1-77 所示。注意：连接 MPI、OPI 和 Profibus 通信电缆时，电缆两端需各连接一个 220Ω 的终端电阻，并且接通第 1 个和最后一个 MPI 插头的终端电阻，即置 ON 位置，其余节点的 MPI 插头终端电阻置 OFF 位置。当要判定通信电缆的好坏时，可打开 NCU 端电缆插座的封盖并测量 A、B 两线间的电阻值，若阻值为 110Ω 则电缆通信正常。

（2）软件组成　840D 系统的软件有 4 类：HMI 软件系统、NC 软件系统、PLC 软件系统、通

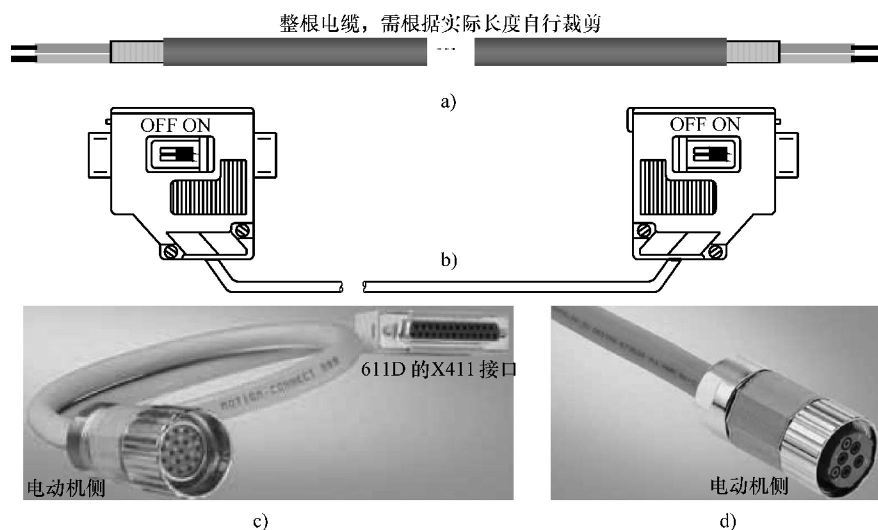


图 1-76　SINUMERIK 840D 的伺服电缆
a）Profibus 总线电缆　b）MPI 总线电缆　c）电动机编码器的信号电缆　d）电动机的动力电缆

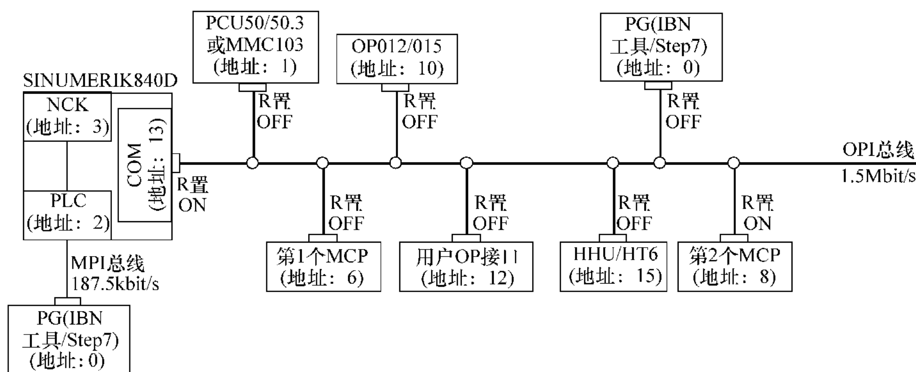


图 1-77　SINUMERIK 840D 各操作部件的 OPI 总线连接

信及驱动接口软件系统。这 4 类软件及其相关数据分别存储在几个不同的位置，如 PCU（中早期为 MMC）硬盘和 NCK 的 RAM、EPROM、PCMCIA 卡及 611D 的 RAM 中，并通过网络和双口 RAM（DPR）进行通信和协作，以充分发挥 840D 系统的强大功能。SINUMERIK 840D 的数据结构如图 1-78 所示。

1）HMI 软件系统：PCU50、PCU70（中早期为 MMC101/102/103）等均带有 5GB 以上的硬盘，它内装基本输入/输出系统（BIOS）、MSDOS 内核操作系统、Windows 操作系统（目前较新的软件版本装有 WinXP，以前的版本多为 Win95/WinNT），以及串口、并口、鼠标和键盘接口、网络接口等驱动程序，支持 SINUMERIK 与外界 PCU/MMC－CPU、PLC－CPU、NC－CPU 之间的相互通信和任务协调。

Windows 操作系统、MSDOS 操作系统、SINUMERIK 服务菜单和 HMI 软件等安装在 PCU/MMC 硬盘上，并可通过 Windows（HMI 软件）和 DOS（服务菜单）进行双重启动。已预装好的或由 OEM 用户安装的 HMI 软件以 NTFS 格式在分区中运行，并且 HMI 软件、Windows 软件、DOS 系统与服务菜单被安装在不同的分区中以保证数据的运行安全和速度。在 WinNT 系统的硬盘中，C 分区和 D 分区为 FAT16 格式且容量一般不超过 4. 8GB，E 分区和 F 分区为 NTFS 格式且容量可根据用户的需要而调整。注意：PCU/MMC 硬盘属于 840D 系统中的易损件，因此维修人

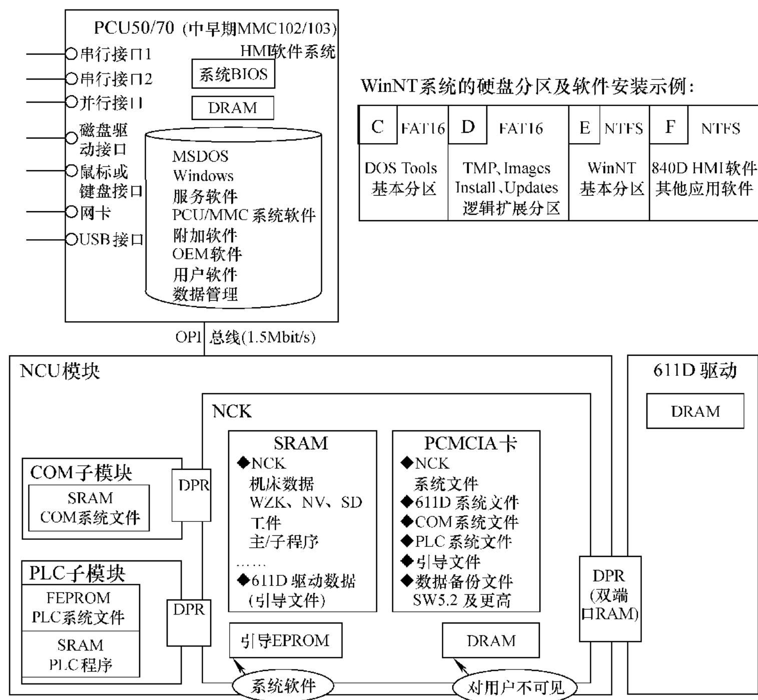


图 1-78 SINUMERIK 840D 的数据结构

员应随时做好硬盘数据的备份（在 Start – up 目录下归档为 NC – Data 和 PLC – Data 两个文件），以备 NCK 的 SRAM 中数据丢失或损坏时通过服务菜单进行数据恢复。

2）NC 软件系统：包括初始引导软件、数字控制软件、611D 驱动数据和 PCMCIA 卡软件。其中，初始引导软件固化于 NCK 的 EPROM 中；数字控制软件包括机床数据（Machine Data）、标准循环子系统（为提高系统的使用效能而开发的车削、铣削、钻削和镗削等功能软件）和安全集成程序等，它们存储在 NCK 的 SRAM 中；611D 驱动数据指的是 840D 系统标配部件 SIMODRIVE 611D 数字式交流伺服模块的相关参数，这些相关参数会在 840D 系统上电运行时通过双口 RAM（DPR）从 NCK 中读入 611D 驱动系统的 DRAM 中；NCU 模块上的 PCMCIA 插槽可安装 PCMCIA 个人计算机存储卡，该卡内预装有 NCK 系统文件、PLC 系统文件和驱动通信文件等。

对于 SRAM 存储的机床数据等，可通过 PCU/MMC 上的 LOAD 和 UNLOAD 操作命令，在 PCU/MMC 的硬盘与 NCK 的 SRAM 间进行交换，该过程称为数据的剪切。即这些数据只能同时存储在一个地方，有些文件暂不需要时可保存在硬盘上，而需要运行的文件可加载至 NCK 的 SRAM 中。对于 SW5. 2 以上版本中的 PCMCIA 存储卡，可用来备份 NC – Data 和 PLC – Data 这两个文件，以备 NCK 的 SRAM 中数据丢失或损坏时通过服务菜单进行数据恢复。

3）PLC 软件系统：包括 PLC 系统支持软件和 PLC 程序，它们分别存储在 NCU 模块分配给 PLC 使用的 FEPROM 和 SRAM 中。PLC 系统支持 840D 系统的内置 CPU315 –2DP 型可编程逻辑控制器的正常工作，该支持程序被固化在 NCU 的 FEPROM 中。而 PLC 程序包含基本 PLC 程序和用户 PLC 程序两部分（见图 1-79）。

4）通信及驱动接口软件：它主要用于协调 PCU/MMC – CPU、PLC – CPU 和 NC – CPU 三者之间的 OPI 通信及经由双口 RAM 进行的 DPR 通信。在 840D 系统中，PCU/MMC 和 HHU/HT6 及 MCP 通过一根 MPI 双芯屏蔽总线电缆采取 OPI 通信协议被挂接在 NCU 模块上，从而提高了 840D 系统的数据传输速率。在 840D 系统中，NCU 控制 611D 的信号和 611D 的反馈信号是通

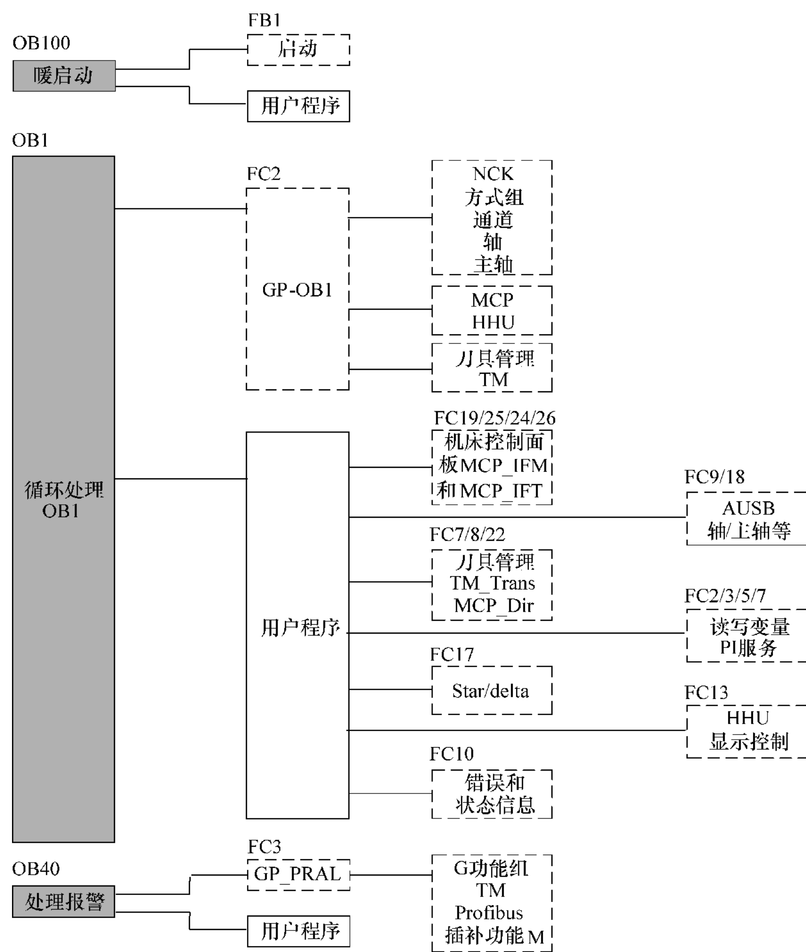


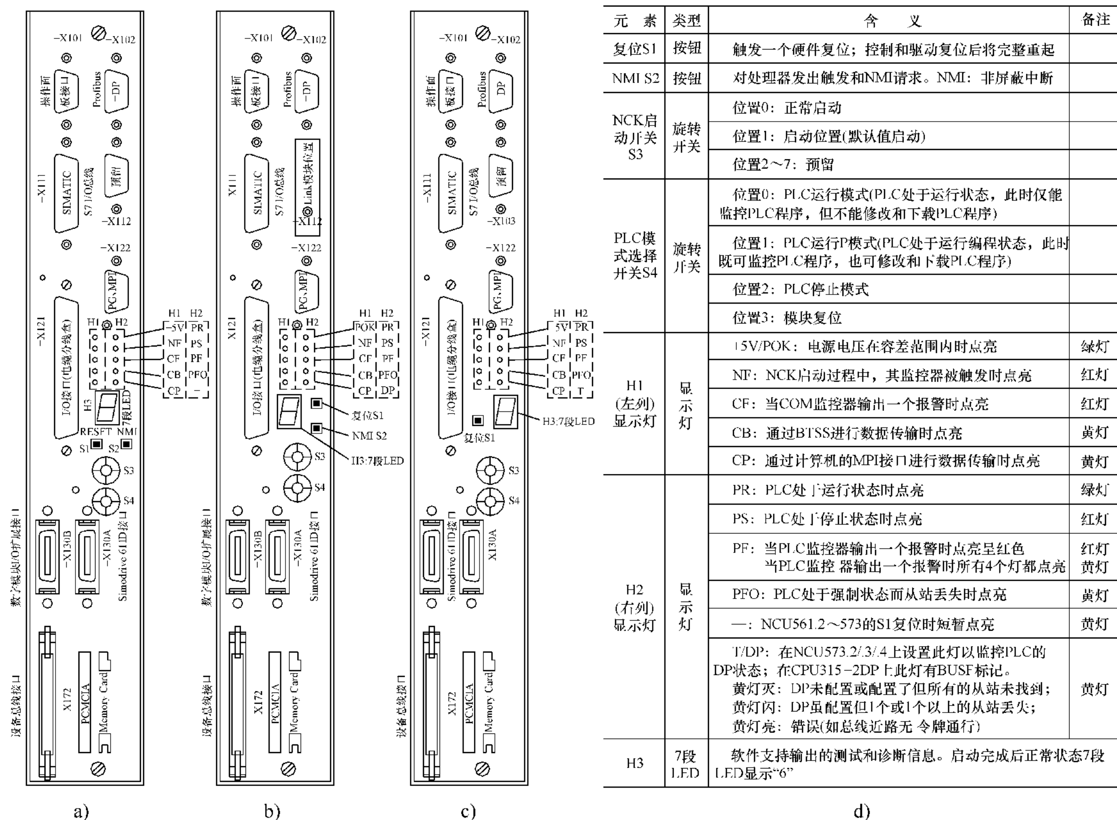
图 1-79　SINUMERIK 840D 的 PLC 程序结构

过 DRIVE - Bus 总线采用 DPR 通信完成的，从而避免了更换同型号的故障驱动模块后唯有进行各种优化机床方能正常运行的窘境。即换完驱动模块并使系统重新上电后，611D 的相关数据经由 DPR 通信从 NCK 中读入 611D 驱动系统的 DRAM 中，这是因为整个驱动的优化已在第一次轴调整时完成并作为一个文件（内含 NC - MD 的选择、模块的电动机型号选择和频率补偿等）保存起来。

1.7.2　SINUMERIK 840D power line 的功能连接

（1）NCU 模块的接口　NCU 模块是由带电池、风扇单元和直流母线的 NCU Box 及装有高性能多处理器的 NCU 控制板两部分组成的。其中 NCU Box 被 2 个 M5 螺钉固定在 SIMODRIVE 电源模块和第一块 611D 驱动模块之间，NCU 控制板插入 NCU Box 中并由 2 个开槽螺钉固定在 NCU Box 上。NCU 控制板的前面板上不仅有操作面板接口 X101、Profibus - DP 接口 X102、SIMATIC S7 I/O 总线接口 X111、SIMODRIVE 611D 接口 X130A 和设备总线接口 X172 及 PCMCIA 插槽 X173，而且还有启动开关 S3、S4 和状态显示灯 H1 ~ H3。SINUMERIK 840D 中 NCU 接口布置及启动开关和状态显示灯如图 1-80 所示。

1）X101：操作面板接口（MPI），属于 9 芯 D - Sub 插座，采用 OPI 通信协议（传输速率 1.5Mbit/s）连接 PCU/MMC、MCP 和 HHU 等操作部件。X101 接口的 9 个引脚中 Pin3 为 RS_



元素	类型	含义	备注
复位S1	按钮	触发一个硬件复位；控制和驱动复位后将完整重起	
NMI S2	按钮	对处理器发出触发和NMI请求。NMI：非屏蔽中断	
NCK启动开关S3	旋转开关	位置0：正常启动	
		位置1：启动位置(默认值启动)	
		位置2～7：预留	
PLC模式选择开关S4	旋转开关	位置0：PLC运行模式(PLC处于运行状态，此时仅能监控PLC程序，但不能修改和下载PLC程序)	
		位置1：PLC运行P模式(PLC处于运行编程状态，此时既可监控PLC程序，也可修改和下载PLC程序)	
		位置2：PLC停止模式	
		位置3：模块复位	
H1(左列)显示灯	显示灯	+5V/POK：电源电压在容差范围内时点亮	绿灯
		NF：NCK启动过程中，其监控器被触发时点亮	红灯
		CF：当COM监控器输出一个报警时点亮	红灯
		CB：通过BTSS进行数据传输时点亮	黄灯
		CP：通过计算机的MPI接口进行数据传输时点亮	黄灯
H2(右列)显示灯	显示灯	PR：PLC处于运行状态时点亮	绿灯
		PS：PLC处于停止状态时点亮	红灯
		PF：当PLC监控器输出一个报警时点亮呈红色 当PLC监控器输出一个报警时所有4个灯都点亮	红灯 黄灯
		PFO：PLC处于强制状态而从站丢失时点亮	黄灯
		—：NCU561.2～573的S1复位时短暂点亮	黄灯
		T/DP：在NCU573.2/.3/.4上设置此灯以监控PLC的DP状态；在CPU315-2DP上此灯有BUSF标记。 黄灯灭：DP未配置或配置了但所有的从站未找到； 黄灯闪：DP虽配置但1个或1个以上的从站丢失； 黄灯亮：错误(如总线近路无令牌通行)	黄灯
H3	7段LED	软件支持输出的测试和诊断信息。启动完成后正常状态7段LED显示"6"	

图 1-80 SINUMERIK 840D 中 NCU 的接口布置及启动开关和状态显示灯

a）NCU561.2～573 b）NCU573.2/.3/.4 c）其他类型的 NCU d）NCU 上启动开关和状态显示灯的含义

BTSS（差分 RS485 数据），Pin4 为 RTSAS_ BTSS（请求发送 AS－OPI），Pin5 为 2M（电位隔离的信号地），Pin6 为 2P5（电位隔离的 DC＋5V），Pin8 为 XRS_ BTSS（差分 RS485 数据），Pin9 为 RTSPG_ BTSS（请求发送 PG），其他引脚空置。另外，X101 接口还可通过 Profibus－DP 电缆连接一台外部计算机，用于 840D 系统的维修调试。但在设置 PG/PC 通信接口时，必须选择波特率为 1.5Mbit/s 的 MPI 通信协议。

2）X102：Profibus－DP 接口，属于 9 芯 D－Sub 插座，用来连接远程设备 ET200 等通信模块（见图 1-81）。X102 接口的 9 个引脚中 Pin1 空置，Pin2 为 M24ext（0V），Pin3 为 RS_ ProfibusDP（差分 RS485 数据），Pin4 为 RTSAS_ ProfibusDP（请求发送 AS），Pin5 为 DGND（电位隔离的信号地），Pin6 为 VP（电位隔离的＋5V），Pin7 为 P24ext（DC＋24V，当电缆分配盒 X121 处有 24V 电压时方可使用该引脚），Pin8 为 XRS_ ProfibusDP（差分 RS485 数据），Pin9 为 RTSPG_ ProfibusDP（请求发送 PG）。

3）X111：SIMATIC 接口（IM361），属于 25 芯 D－Sub 插座，用长度不超过 10m 电缆以 P/K 总线形式连接 S7－300 PLC，该接口的数据传输速率为 187.5kbit/s。

4）X112：维修用 RS232 串行通信接口，不用于 NCU573.2/.3/.4，属于 9 芯 D－Sub 插头。用长度不超过 10m 的 RS232 电缆连接外设计算机或其他 NCU 模块，当多个 NCU 模块通过该端口与主控计算机通信时可构成 DNC 系统。X112 接口的 9 个引脚中 Pin2 为 RxD（接收数据），Pin3 为 TxD（传送数据），Pin5 为 M（接地），Pin7 为 RTS（请求发送），Pin8 为 CTS（允许发送），其他引脚空置。

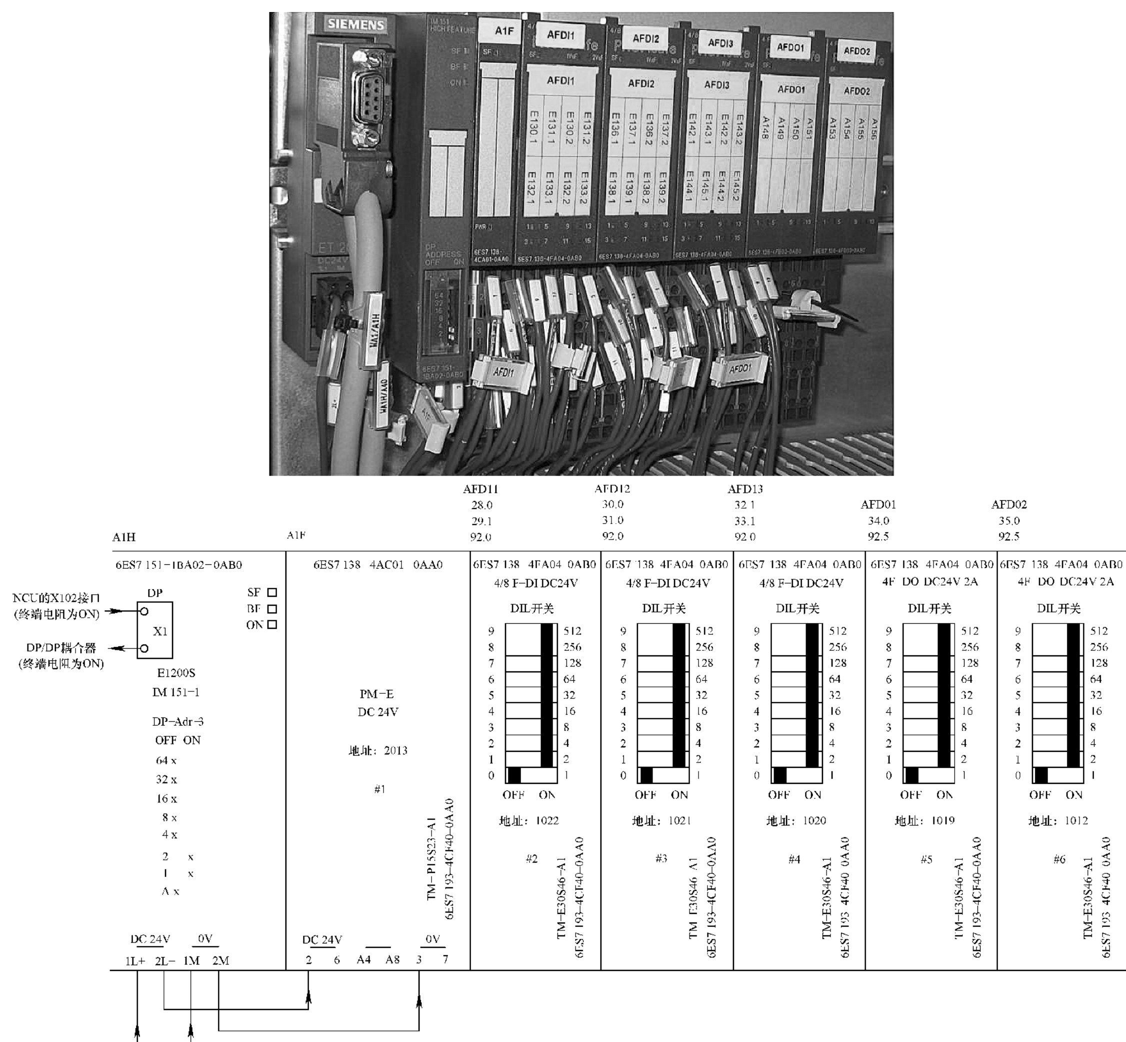


图 1-81　Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机中 ET200S 模块的连接图

NCU573.2/.3/.4 上的 X112 为带 9 芯 D－Sub 插座的 Link 模块（NCU 的可选子模块，如图 1-82 所示）接口，用于多个 NCU573.2/.3/.4 间附加数据的交换。规格 6FC5212－0AA01－1AA0 的 Link 模块接口的 9 个引脚中 Pin3 为 RS_ Link（差分 RS485 数据），Pin5 为 DGND（信号地），Pin6 为 VP（＋5V），Pin8 为 XRS_ Link（差分 RS485 数据），其他引脚空置。

5）X121：带 37 芯 D－Sub 插头的 I/O 接口，通过 37 芯的电缆分线盒将 X121 接口划分为 2 个差分手轮接口、2 个测量脉冲输入接口、4 个 NC 二进制输入接口和 4 个 NC 二进制输出接口及 1 个 24V/M24ext 接口后，再经由长度不超过 25m 的 7 根电缆（输入端在电缆分线盒的

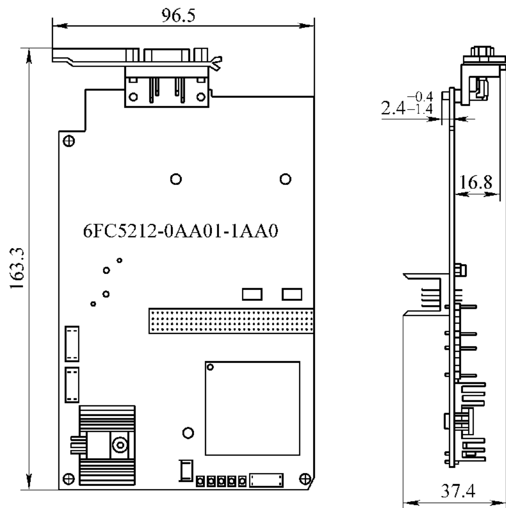


图 1-82　NCU573.2/.3/.4 上的 Link 模块

后端）分别连接手轮、传感器测头和二进制输入/输出端（可用电缆分线盒上外部 24V 的馈电电源为 NC 二进制输出端供电）。X121 接口和电缆分线盒的对应引脚分配及信号内容见表 1-31。为方便读者理解 X121 接口和电缆分线盒的使用，在此给出 Oerlikon – C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（SINUMERIK 840D 系统）的 X121 接口连接示例，如图 1-83 所示。

表 1-31　X121 接口和电缆分线盒的对应引脚分配及信号内容

引脚	对应信号	信号内容	信号类型	DuBos 插头	电缆序号	引脚	对应信号	信号内容	信号类型	DuBos 插头	电缆序号
1	M24 EXT	外部 DC24V，用于 NC 二进制的输入	VI	X9. 2	6	20	P24 EXT	外部 DC +24V，用于 NC 二进制的输入	VI	X9. 1	6
2			VI	X9. 4		21			VI	X9. 3	
3	OUTPUT_ 1	NC 二进制输出 1	O	X8. 2	5	22	OUTPUT_ 3	NC 二进制输出 3	O	X8. 1	5
4	OUTPUT_ 0	NC 二进制输出 0	O	X8. 4		23	OUTPUT_ 2	NC 二进制输出 2	O	X8. 3	
5	INPUT_ 3	NC 二进制输入 3	I	X7. 2	4	24	MEXT	外部地（NC 输入的参考地）	VI	X7. 1	4
6	INPUT_ 2	NC 二进制输入 2	I	X7. 4		25				X7. 3	
7	INPUT_ 1	NC 二进制输入 1	I	X6. 2		26				X6. 1	
8	INPUT_ 0	NC 二进制输入 0	I	X6. 4		27				X6. 3	
9	MEPUS_ 0	测量脉冲信号 0，+24V	I	X10. 2 X10. 1	7	28	MEPUS_ 1	测量脉冲信号 1，+24V	I	X5. 2 X5. 1	3
10	MEPUC_ 0	测量脉冲共地（参考地）0，0V	I	X10. 4 X10. 3		29	MEPUC_ 1	测量脉冲共地（参考地）1，0V	I	X5. 4 X5. 3	
11	MPEG_ *A	手轮 1 的 A 相取反信号	I	X4. 2	2	30	MPG1 A	手轮 1 的 A 相信号	I	X4. 1	2
12	MPG1_ 5V	手轮 1 的 DC5V 输出，每个手轮最大 500mA	VO	X4. 4		31	MPG0_ 0V	手轮 0 的 0V 输出	VO	X4. 3	
13				X3. 2		32				X3. 1	
14	MPG1_ *B	手轮 1 的 B 相取反信号	I	X3. 4		33	MPG1 B	手轮 1 的 B 相信号	I	X3. 3	
15	MPG0_ *A	手轮 0 的 A 相取反信号	I	X2. 2	1	34	MPG0_ A	手轮 0 的 A 相信号	I	X2. 1	1
16	MPG0_ 5V	手轮 0 的 DC5V	VO	X2. 4		35	MPG0_ 0V	手轮 0 的 0V	VO	X2. 3	
17				X1. 2		36				X1. 1	
18	MPG0_ *B	手轮 0 的 B 相取反信号	I	X1. 4		37	MPG0_ B	手轮 0 的 B 相信号	I	X1. 3	
19	未分配										

注：O 为输出信号，I 为输入信号；VO 为电压输出信号，VI 为电压输入信号。MPG0 为第 1 个手轮，MPG1 为第 2 个手轮。

6）X122：PG – MPI 接口，属于 9 芯 D – Sub 插座。经由长度不超过 50m 的电缆以 MPI 通信协议（187. 5kbit/s）连接外部 PG/PC，以进行 S7 – 300 PLC 的调试工作。当 840D 系统进行 MPI 通信时，相关操作部件均连接至该接口且通信波特率设定为 187. 5kbit/s。X122 接口的 9 个引脚中 Pin1 空置，Pin2 为 M24ext（0V），Pin3 为 RS_ KP（差分 RS485 数据_ PLC 的 K 总线），Pin4 为 RTSAS_ KP（请求发送 AS – PLC 的 K 总线），Pin5 为 M（接地），Pin6 为 P5（DC +5V），Pin7 为 P24ext（DC +24V，唯电缆分配盒 X121 处有 24V 电压时方可使用该引脚），Pin8 为 XRS_ KP（差分 RS485 数据_ PLC 的 K 总线），Pin9 为 RTSPG_ KP（请求发送 PG_ PLC 的 K 总线）。

7）X130A：SIMODRIVE 611D 驱动总线接口，属于 2 ×36 芯微带型（microribbon）插头。用长度不超过 10m 的扁平电缆将 NCU 模块与各轴的驱动功率模块连接起来，从而实现对伺服电动机和主轴电动机的控制。注意：驱动总线不能带电插拔。

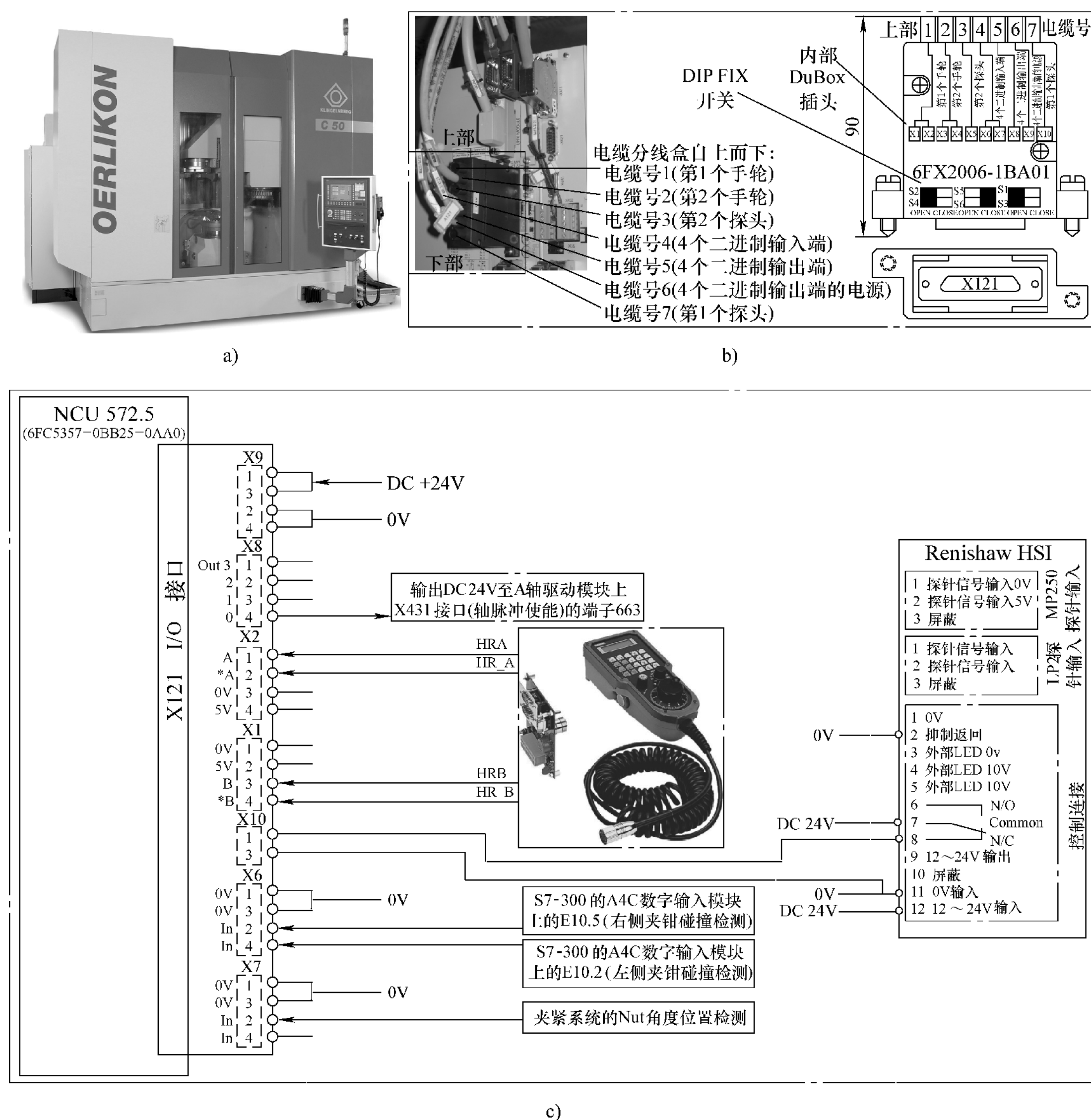


图 1-83　Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）的 X121 接口连接示意图

a）Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机　b）X121 接口的电缆分线盒

c）Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机 X121 接口连接

8）X130B：数字模块接口，属于 2×36 芯微带型（microribbon）插头，用长度不超过 10m 的扁平电缆连接探针等测量模块。

9）X172：设备总线接口，属于 2×17 芯扁平电缆插头，经由扁平电缆将各相关模块的系统数据控制总线联系起来。X172 接口的 34 个引脚中 Pin1 和 Pin3 均为 HF1（频率为 20kHz 的 57V 电源输入），Pin2 和 Pin4 均为 HF2（频率为 20kHz 的 57V 电源输入），Pin9 和 Pin11 为 P15（+15V 输入），Pin16 为开放集电极的 I2T_ TMP（I^2t 预警，用于风扇或温度等 NC 专用报警），Pin18 为 P27（+27V 风扇电源输入），Pin19 为 M27（P27 的参考地），Pin20、Pin22 和 Pin24 均为 M（接地），Pin31 为开放集电极的 SIM_ RDY（驱动和 NC 准备），其他引脚空置。注意：设备总线不能带电插拔。

10）X173：PCMCIA 卡（NC 卡或 PC 卡）插槽，属于 68 芯的 PCMCIA 卡插头。在 840D 系统开

机前将规格为 6FC5250－6CY30－5AH0 的闪存卡插入该插槽中，用于 840D 系统的引导启动，以后无特殊情况该卡不再拔出，以防损坏卡上固化的 NCK、PLC 和 611D 驱动的系统文件及引导文件。

（2）PCU、OP 和 MCP 等操作部件的接口及其与 NCU 模块的连接　根据用户的需求和机床性能要求，SINUMERIK 840D 系统可选择配置 PCU50、PCU50.3 或 PCU70（对应中早期带硬盘的 MMC103 系列），并与 OP012、OP012T、OP015 或 OP015A/AT（中早期为 OP031 或 OP032）等操作面板一起组合使用。其中 PCU 为一台带 MPI 等接口的工业计算机，OP 单元为该计算机的显示器。下面以德国肖特公司生产的 PF61－S3000 成形数控磨床（SINUMERIK 840D 系统，见图 1-84）为例，介绍 PCU 模块、OP 单元和机床控制面板与 NCU 模块的连接。

PF61－S3000 成形数控磨床选用 SINUMERIK 840D 系统，配置 NCU573.2 模块、PCU50 模块和操作面板 OP012 以及带光电隔离输入端的机床按键面板 PP031－MC/HR 等，主要用于铁路货车 RE_{2B}型车轴轴颈和防尘板座及两圆弧根部的一次成形磨削加工。该磨床不仅采用规格为 ϕ900mm×290mm×304.8mm－19A60LVS45m/s 的 20°斜进切入式整体磨削砂轮，使用由较小天然金刚石颗粒人为排列烧结而成的片状金刚笔修整磨削砂轮，修整时 840D 系统还能根据预先编制的砂轮修整程序指令，控制伺服轴 X、Z 联动从而修整出与 RE_{2B}型车轴被磨削部位相吻合的砂轮形状。而且它还使用 Marposs P5 在线径向测量仪直接监控磨削过程中 RE_{2B}型车轴轴颈的尺寸变化，间接控制车轴防尘板座的直径尺寸，同时采用硬线连接的 Marposs T25G 接触式测头进行车轴端面的定位（Z 轴）测量。

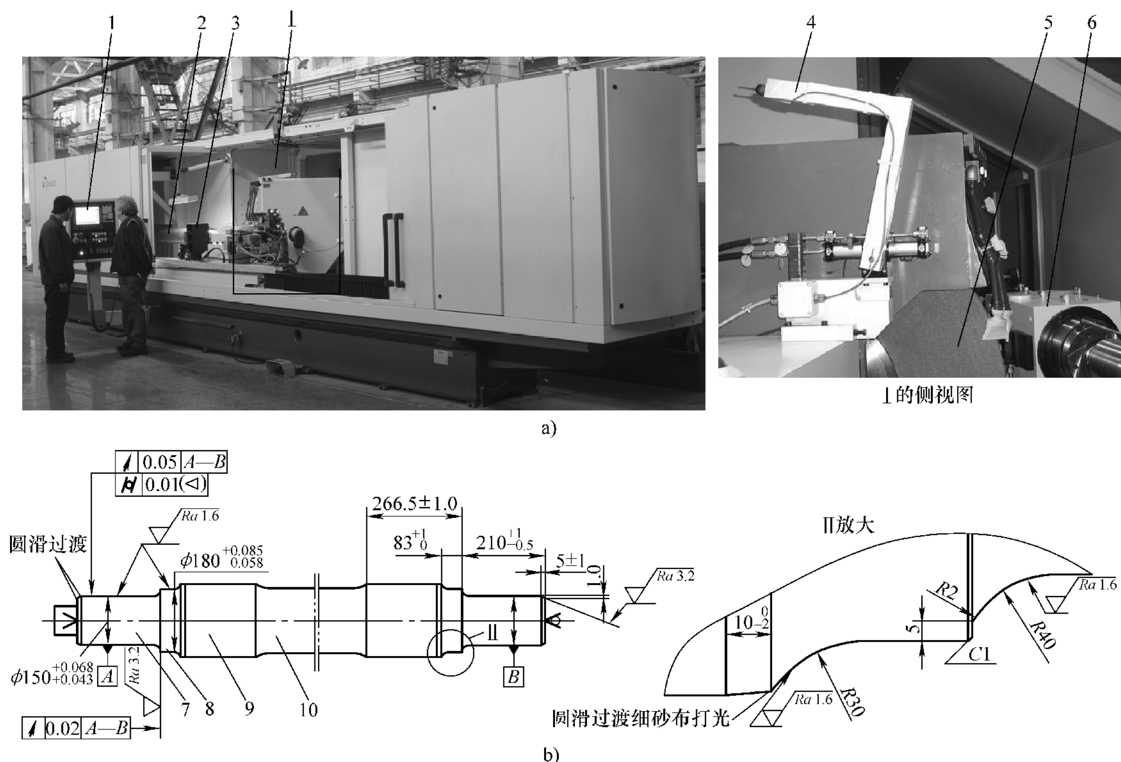


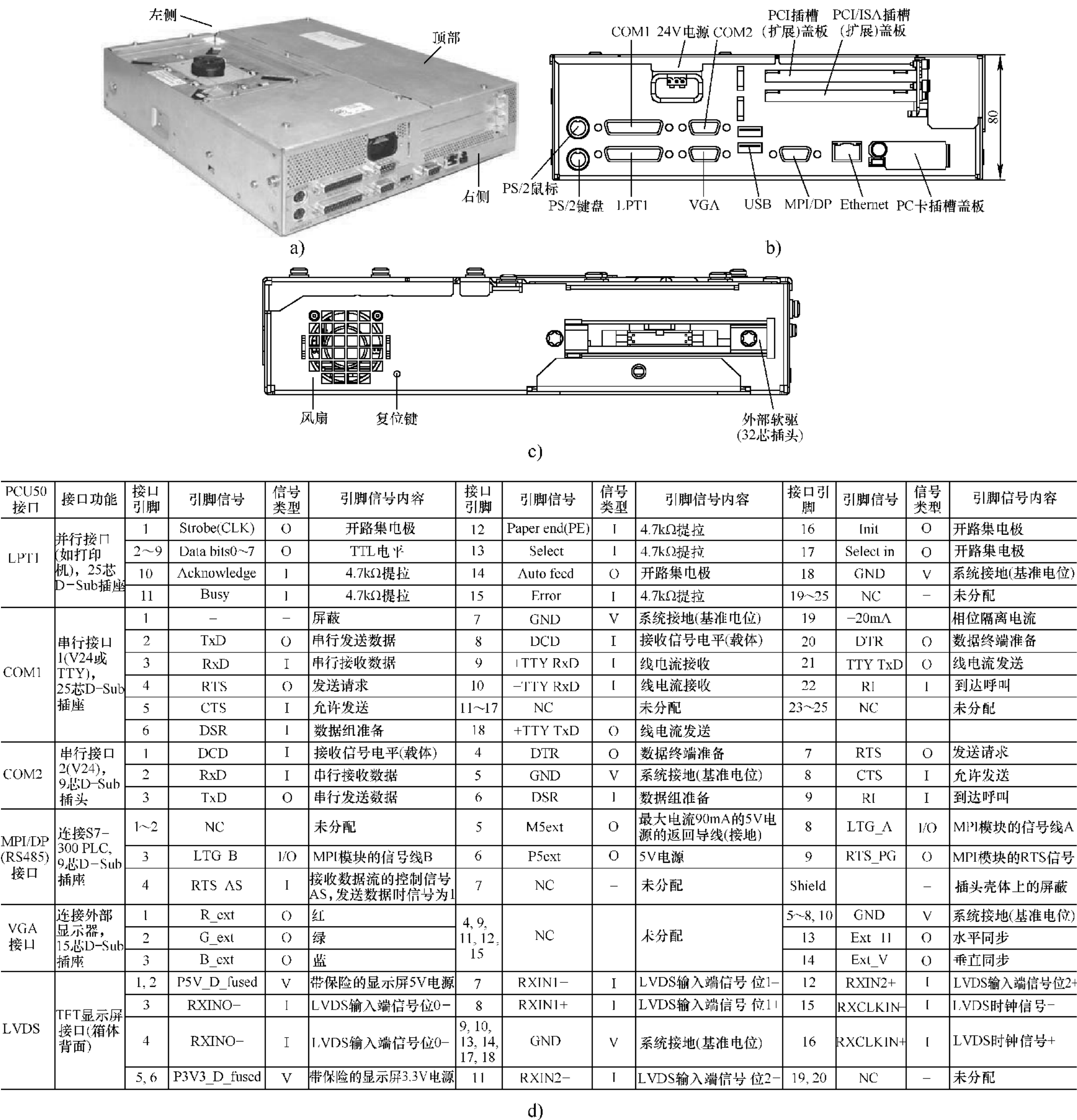
图 1-84　PF61－S3000 成形数控磨床（840D 系统）及其被磨削工件

a）PF61－S3000 成形数控磨床的组成结构　b）被磨削的 RE_{2B}型车轴

1—PCU50、OP012 和 PP031　2—头架　3—Marposs P5 在线径向测量仪　4—Marposs T25G 接触式测头
5—20°斜进切入式磨削砂轮　6—尾座　7—车轴轴颈　8—车轴防尘板座　9—车轴轮座　10—车轴轴身

1）PCU50 的接口布置及各接口的引脚说明（见图 1-85）：PCU50 是基于 PC 平台的面板控制

单元，具有 LPT1 并行接口、2 个串行 COM 端口（25 芯和 9 芯）、PS/2 键盘接口和鼠标接口、最大传输速率为 12Mbit/s 的 MPI/DP 接口、连接外部显示器的 VGA 接口、工业以太网接口（10/100Mbit/s）、PCI 插槽和 PCI/ISA 共享插槽，及连接 SINUMERIK OP 的 LVDS 接口和 USB 接口（内部）。



PCU50接口	接口功能	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容	接口引脚	引脚信号	信号类型	引脚信号内容
LPT1	并行接口(如打印机)，25芯D-Sub插座	1	Strobe(CLK)	O	开路集电极	12	Paper end(PE)	I	4.7kΩ提拉	16	Init	O	开路集电极
		2～9	Data bits0～7	O	TTL电平	13	Select	I	4.7kΩ提拉	17	Select in	O	开路集电极
		10	Acknowledge	I	4.7kΩ提拉	14	Auto feed	O	开路集电极	18	GND	V	系统接地(基准电位)
		11	Busy	I	4.7kΩ提拉	15	Error	I	4.7kΩ提拉	19～25	NC	-	未分配
COM1	串行接口1(V24或TTY)，25芯D-Sub插座	1	-	-	屏蔽	7	GND	V	系统接地(基准电位)	19	-20mA		相位隔离电流
		2	TxD	O	串行发送数据	8	DCD	I	接收信号电平(载体)	20	DTR	O	数据终端准备
		3	RxD	I	串行接收数据	9	+TTY RxD	I	线电流接收	21	TTY TxD	O	线电流发送
		4	RTS	O	发送请求	10	-TTY RxD	I	线电流接收	22	RI	I	到达呼叫
		5	CTS	I	允许发送	11～17	NC		未分配	23～25	NC		未分配
		6	DSR	I	数据组准备	18	+TTY TxD	O	线电流发送				
COM2	串行接口2(V24)，9芯D-Sub插头	1	DCD	I	接收信号电平(载体)	4	DTR	O	数据终端准备	7	RTS	O	发送请求
		2	RxD	I	串行接收数据	5	GND	V	系统接地(基准电位)	8	CTS	I	允许发送
		3	TxD	O	串行发送数据	6	DSR	I	数据组准备	9	RI	I	到达呼叫
MPI/DP (RS485)接口	连接S7-300 PLC，9芯D-Sub插座	1～2	NC		未分配	5	M5ext	O	最大电流90mA的5V电源的返回导线(接地)	8	LTG_A	I/O	MPI模块的信号线A
		3	LTG_B	I/O	MPI模块的信号线B	6	P5ext	O	5V电源	9	RTS_PG	O	MPI模块的RTS信号
		4	RTS_AS	I	接收数据流的控制信号AS，发送数据时信号为1	7	NC	-	未分配	Shield		-	插头壳体上的屏蔽
VGA接口	连接外部显示器，15芯D-Sub插座	1	R_ext	O	红	4, 9, 11, 12, 15	NC		未分配	5～8, 10	GND	V	系统接地(基准电位)
		2	G_ext	O	绿					13	Ext_H	O	水平同步
		3	B_ext	O	蓝					14	Ext_V	O	垂直同步
LVDS	TFT显示屏接口(箱体背面)	1, 2	P5V_D_fused	V	带保险的显示屏5V电源	7	RXIN1-	I	LVDS输入端信号 位1-	12	RXIN2+	I	LVDS输入端信号位2+
		3	RXINO-	I	LVDS输入端信号位0-	8	RXIN1+	I	LVDS输入端信号 位1+	15	RXCLKIN-	I	LVDS时钟信号-
		4	RXINO-	I	LVDS输入端信号位0-	9, 10, 13, 14, 17, 18	GND	V	系统接地(基准电位)	16	RXCLKIN+	I	LVDS时钟信号+
		5, 6	P3V3_D_fused	V	带保险的显示屏3.3V电源	11	RXIN2-	I	LVDS输入端信号 位2-	19, 20	NC	-	未分配

d)

图 1-85　PCU50 的接口布置及各接口的引脚说明

a）实物图　b）箱体右侧接口　c）箱体左侧接口　d）PCU50 部分接口的引脚说明

PCU50 自身带有一块被分为 1 个基本分区（C 区）和 3 个逻辑分区（D、E、F 区）的硬盘，其中 C 区和 D 区用于 FAT16 格式文件的存取，E 区和 F 区用于 NTFS 格式文件的存取。通常，HMI 系统软件和 Step7 等应用程序安装在 F 区，Windows XP/NT 操作系统安装在 E 区。

2）操作面板 OP012 的接口布置（见图 1-86）：PF61－S3000 成形数控磨床配置的 OP012 操作面板安装规格为 19in，安装断面（W×H）为 450mm×290mm，具有分辨率为 800×600 像素点（VGA）的 12.1in TFT 彩色显示器。OP012 的薄膜键盘上有字母键、数字键、光标键、控制键和

热键等键组合区，并有 2×8 个水平操作软键和 2×8 个垂直软键（直接按键功能）。OP012 正面的防护等级为 IP65，背面为 IP00。OP012 上有状态 LED 以监控电源和过温，正面带有 USB 接口。面板上垂直直接控制软键的状态可通过直接控制键子模块传送至 SIMATIC，而无需中间其他固件。垂直直接控制软键的信号也可连接至 Profibus 总线和带光电隔离输入端的按键面板（如 PP031－MC），然后转移至 PLC 集中处理。

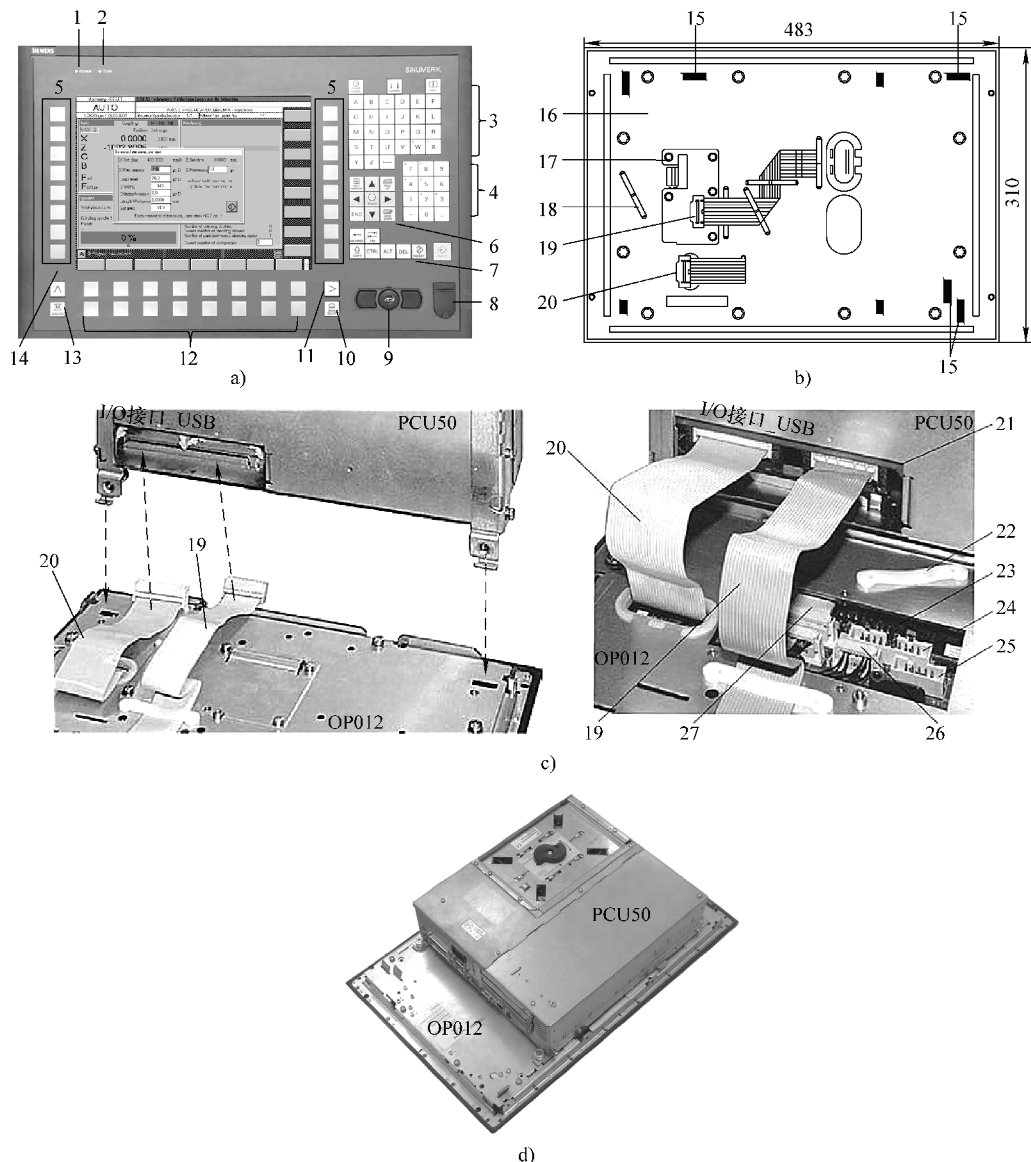


图 1-86　操作面板 OP012 的接口布置

a）OP012 的正面图　b）OP012 的背面图　c）OP012 与 PCU50 的连接及其接口　d）OP012 与 PCU50 连接后实物

1—电源状态 LED　2—超温指示 LED　3—字母键区　4—数字键区　5—垂直软键（2×8 个）　6—光标键区　7—控制键区　8—USB 接口　9—鼠标　10—区域转换键　11—ETC 键　12—水平软键（2×8 个）　13—加工区　14—返回键　15—软键标签插槽　16—显示屏衬托板　17—键盘控制器连接盖板　18—电缆夹　19—显示屏电缆 K2　20—扁平电缆 K1　21—PCU50 主板　22—电缆夹紧装置（连接直接控制键子模块）　23—键盘控制器　24—直接控制键接口 X11　25—备用接口 X12　26—背光灯插头 X14　27—扁平电缆 K1 插头 X1

3）机床按键面板 PP031－MC/HR 的接口布置：PF61－S3000 成形数控磨床选用的 PP031－MC/

HR 按键面板属于机床控制面板的一种，主要是按照给定的工作方式执行 840D 系统的 NC 程序及完成机床的动作控制（如急停控制、复位、程序控制、工作方式选择、机床功能、用户自定义功能和轴/主轴控制等）。PP031－MC/HR 由主板、PCB 分线盒、直接控制键和控制面板等组件组成（图 1-87）。其中，按键面板的主板可连接一个手持操作单元 HT6/HHU 或附加的输入端/输出端，PCB 分线盒通过 OPI 接口（X15）用一根 MPI 双芯屏蔽总线电缆采取 OPI 通信协议（传输速率为 1.5Mbit/s）挂接在 840D 系统的 NCU 模块上，通过面板正面的 COM 接口（X16）可连接一个带有外部 24V 电源的编程器 PG。PP031－MC/HR 不仅可提供 60 个输入端和 26 个输出端，还提供了 3 个状态 LED 以监控按键面板的工作状态。其中 H2 用于面板的超温监控（>60℃时动作），H3 用于面板电源的指示（>4.7V 时点亮呈绿色），H4 仅在数据传送期间闪烁。当 PP031 与 840D 系统的 NCU 模块进行 OPI 通信时，按键面板的总线地址必须由 DIP 开关 S16、S17 及 S18 进行总线地址和波特率等项目的正确设定（如仅有 1 个按键面板时的相关设定：S17#4＝ON 设定波特率为 1.5Mbit/s，S17#3＝OFF 和 S17#2＝ON 设定数据传送循环时间为 100ms，S17#1＝OFF、S16#4＝ON、S16#3＝ON 和 S16#2＝OFF 设定总线地址为 6，S16#1＝OFF 和 S18#3＝OFF 选择参数组 1，S18#1＝OFF 关闭硬件复位功能），同时将连接电缆插头的终端电阻置于 OFF 状态。

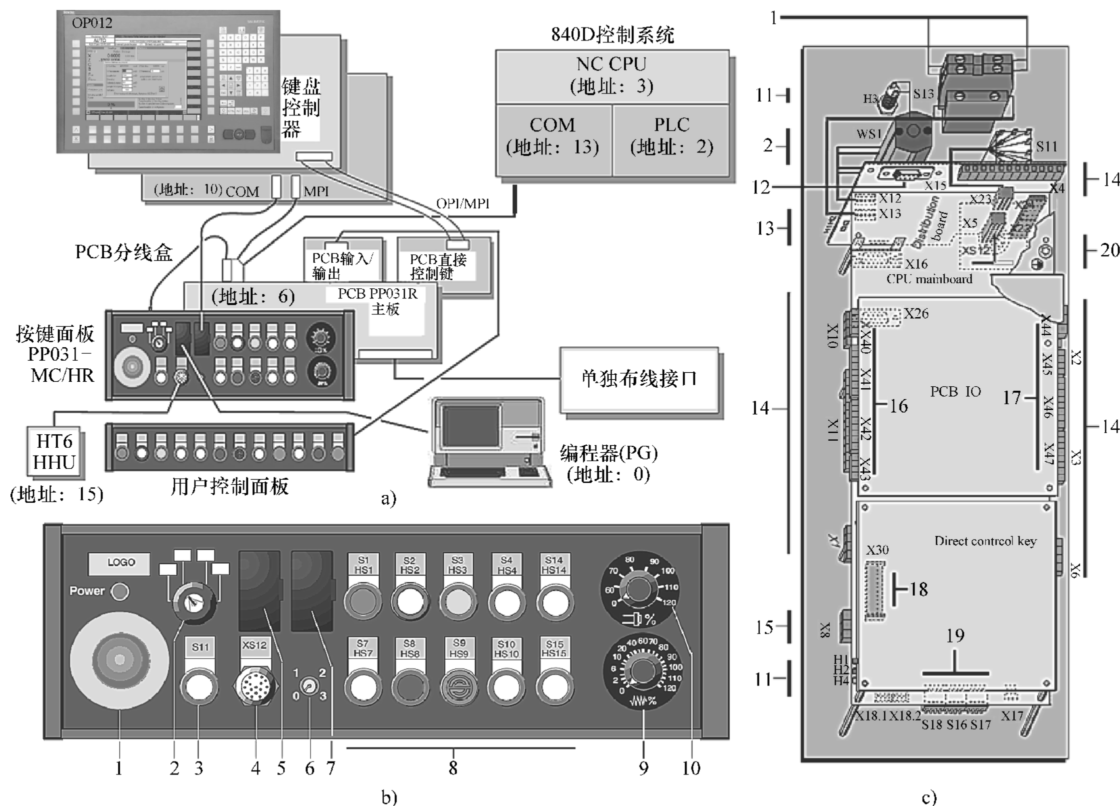


图 1-87　PP031－MC/HR 的连接及接口布置

a）PP031－MC/HR 的连接示意　b）PP031－MC/HR 的正视图　c）PP031－MC/HR 的后视图

1—急停按钮 S13　2—选择开关 WS1　3—跳接按键 S11　4—手持单元插头 XS12　5—编程器插头 X16　6—钥匙操作开关（有授权或无授权）　7—COM 插头 X26　8—可变安装的动作元件　9—进给倍率旋钮 WS2　10—主轴倍率旋钮 WS3　11—状态 LED（H1 未使用、H2 超温、H3 电源开、H4SEND 协议传送时状态改变）　12—操作面板接口 X15（MPI）　13—LED 分线盒　14—单独布线的 I/O 信号接口　15—24V 电源插头 X8　16—PCB I/O（功能块 PCB 的输入/输出）键盘矩阵/灯的连接插头 X40～X43　17—24V 电源插头 X44 和 PCB I/O 单个触点/灯的连接插头 X45～X47　18—直接控制按键插头 X30　19—DIP 开关 S16～S18　20—螺钉连接的等电势导体

（3）PF61－S3000 成形数控磨床的 840D 系统连接　如图 1-88 所示。

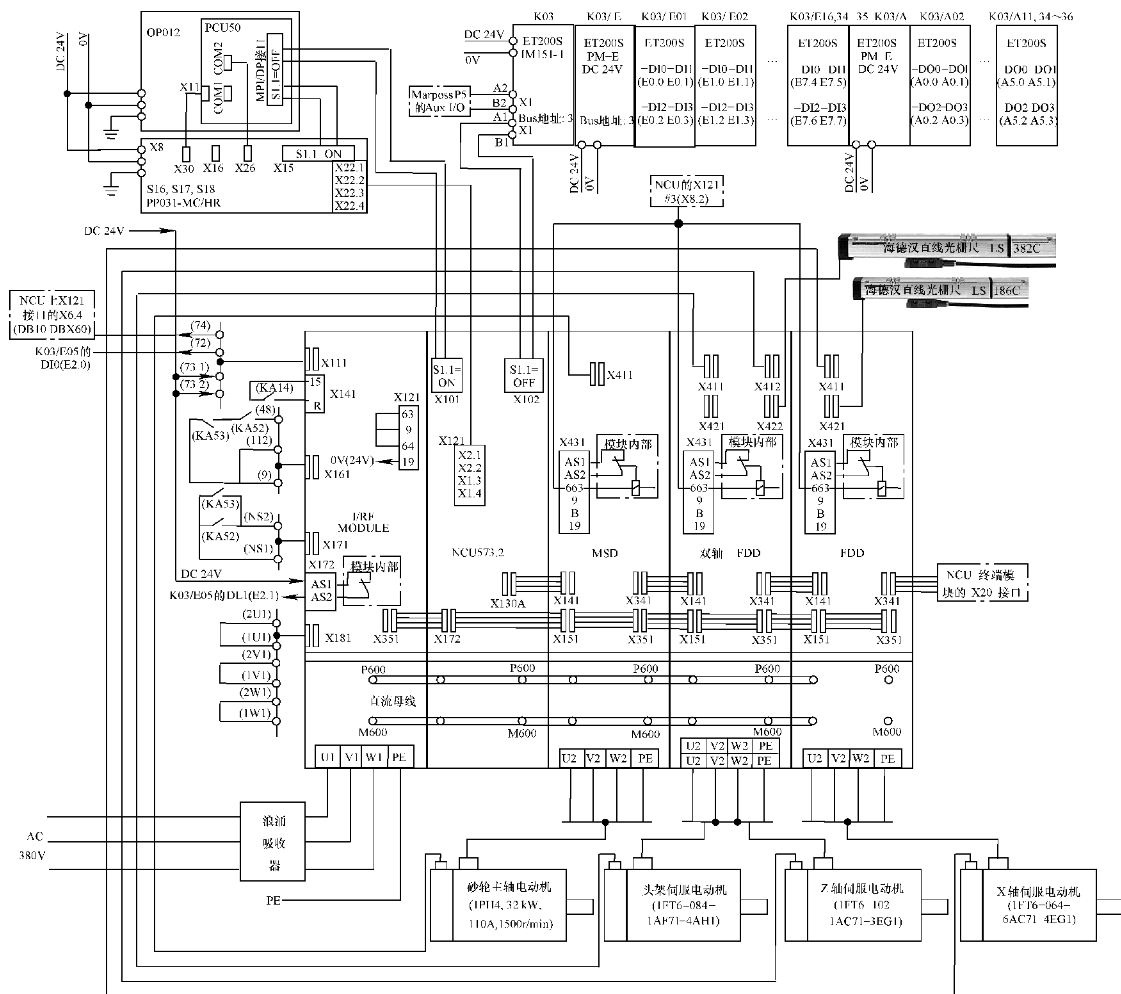


图 1-88　PF61－S3000 成形数控磨床的 840D 系统连接图

1.7.3　SINUMERIK 840D power line 系统报警及故障维修

1. 840D 系统的自诊断报警

SINUMERIK 840D 系统借助自身所具有的强大的自诊断处理功能，通过 NCU 模块可对整个系统及其输入/输出信号进行全面的监控，并实时识别控制系统和机床所出现的故障及用户应用程序中的错误，然后在 OP 单元的显示器上显示相应的故障号和报警信息，从而使机床避免误操作或带病运行以及为机床的维修提供依据。840D 系统的自诊断主要包含 NCK 子模块（NCU 的子模块）的自诊断和 840D 系统的自诊断两个方面。其中 NCK 子模块的自诊断是 840D 系统正常工作的关键，NCK 子模块一旦出现故障（如 NCK 硬件不良、EPROM 或启动芯片损坏、机床数据丢失等）将导致整个系统无法正常启动，且 NCU 模块上的左列状态显示灯中 NF 点亮呈红色（即 NCK 启动过程中监控器被触发）。当 NCK 子模块正常工作后（NF 灯熄灭），840D 系统开始正常启动，同时系统自诊断程序实时监视系统各部分的运行。自诊断程序一旦检测出系统故障（如 NC 与 PLC 之间的数据传输出错、系统各模块的电压或温度超出规定值、位置及速度反馈信号的检测与比较出错或超出容许误差值、PLC 用户程序逻辑判断出机床的输入/输出点信号异常、用户应用程序格式的合法性及各类应用参数的合法性等），将在 OP 单元的显示器上显示相应的报

警号和报警信息。

840D 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、Profibus 报警、PLC 报警和 HMI 报警及 611D 驱动报警五大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（参见表 1-21）。其中报警#1000、#1001、#1002、#1003、#1005、#1010、#1011、#1012、#1013、#1014、#1015、#1016、#1017、#1018 和#1019 及#1160 属于 NC 报警中的系统报警（见表 1-32），用于反映 SINUMERIK 840D 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。

表 1-32　SINUMERIK 840D 的系统报警及处理方法

序号	报警号	报警信息	报警内容	处理方法
1	#1000	系统错误%1（%1 为系统出错号）	显示数控装置内部报警状态，同时传递报警数量，并提供报警原因和报警位置方面的信息	1）按 OP 单元上的［RESET］复位键，看是否能够消除报警，若报警消除可重新启动零件加工程序；若报警不能消除可关机重新上电以消除报警，并执行零件加工程序 2）关机重新上电后仍不能消除系统报警时，可在不更换系统硬件的前提下，利用存储卡或外接计算机进行批量调试 3）进行批量调试后仍不能消除系统报警时，可更换数控装置内的相关硬件，如 NCU 控制板等；然后利用存储卡或外接计算机进行批量调试 4）如仍不能消除故障，可向西门子自动化与驱动集团寻求技术支持
2	#1001	系统错误%1（%1 为系统出错号）		
3	#1002	系统错误%1（%1 为系统出错号）		
4	#1003	自动清除式报警%1 的报警指示字为 0（%1 为错误的报警编号）	编译循环程序的生产厂家或者自我清除式报警的操作系统使用了该系统不允许的地址（零指示字）	
5	#1005	操作系统故障%1 参数%2%3%4（%1 为操作系统错误编码，%2、%3、%4 分别为操作系统错误参数1、2、3）	系统识别出系统中存在 1 个严重的故障	
6	#1010	通道%1 系统错误%2 动作%3（%1 为通道号，%2 为系统错误编号，%3 为动作编号/动作名称）	显示数控装置内部的故障状态和传送的错误编号，与故障号一起对故障原因和故障部位给出说明	
7	#1011	通道%1%3%4 系统故障%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号，%3 为数据块编号或标号等任选参数，%4 为操作数量的可选参数）		
8	#1012	通道%1 系统故障%2%3%4（%1 为通道号，%2 为系统故障号，%3 为参数 1，%4 为参数 2）		
9	#1013	通道%1 系统错误%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号）		
10	#1014	通道%1 系统故障%2（%1 为通道号，%2 为系统故障号）		
11	#1015	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）		
12	#1016	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）		
13	#1017	通道%1 坐标轴%2 系统故障%3（%1 为通道号，%2 为坐标轴号，%3 为系统故障号）		
14	#1018	在通道%1 任务%2 位置%3 浮点处理器状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号，%2 为任务号，%3 为位置优先级，%4 为 FPU 状态）	处理器浮点装置查找到 1 个计算错误	
15	#1019	在地址%3 通道%1 任务%2 FPU 状态%4 浮点计算错误（%1 为通道号，%2 为任务号，%3 为运算出错的地址代码，%4 为 FPU 状态）	因计算错误，处理器浮点装置触发了意外情况	
16	#1160	声明无效在%1：%2（%1 为带程序名称的路径字符串，%2 为行编号字符串）	在指定软件组件（%1）的指定行编号（%2）中存在 1 个错误	

2. 840D 系统中 NCU 模块的更换

在数控机床的日常维修过程中，维修人员应严格按照“四步到位法”（即故障记录到位→诊断分析到位→故障维修到位→维修记录到位）的要求，合理运用系统自诊断、直观检查法（望闻问切）、数据和状态检查、状态指示灯和报警信息分析法、备板置换（替代）法、交换（同类对调）法、敲击法、升温法、功能程序测试法、隔离法和测量比较法及强迫闭合法（用于液压元件或接触器）等现代诊断分析方法，迅速查明机床故障原因并及时排除，尽快恢复数控机床的正常运转，同时制定有针对性的预防措施，防止类似故障的再次发生。配置了 SINUMERIK 840D 系统的数控机床维修也应遵循上述维修原则。下面以国内某公司自德国进口的数控落地镗铣床（采用 SINUMERIK 840D 系统，其 HMI 人机界面由 PCU50、OP015 和 PP012 组成）为例，介绍 NCU573.4 模块的更换过程。

1）更换 NCU573.4 模块前，在机床的 PCU50（装入内嵌式 HMI 软件）上进行 NC 数据和 PLC 数据的系列备份，备份存储在随机硬盘或 NC 卡上。具体操作步骤为：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→依次按［Start－up］开机调试软键及［Set password］设置口令软键，进入密码输入画面→输入保护等级 3 以上的口令后按［OK］垂直软键以激活存储权限→再按［Menu Select］区域转换键→依次按［Service］服务软键、最右侧扩展键［＞］（又称 ETC 键）和［Series Start－up］批量调试软键→显示数据的系列备份画面（见图 1-89）→在画面中分别选择存档内容 MMC、NC（同时选中螺距误差补偿）和 PLC，并用系统默认的文件名再加上日期来定义文档名称→单击垂直软键［Archive］或［NC Card］（选择［V24］或［PG］时，应按［Interface］软键以设定 V24 接口参数）→分别选择硬盘驱动器或 NC 卡为批量调试数据的存储目标并开始系列备份。

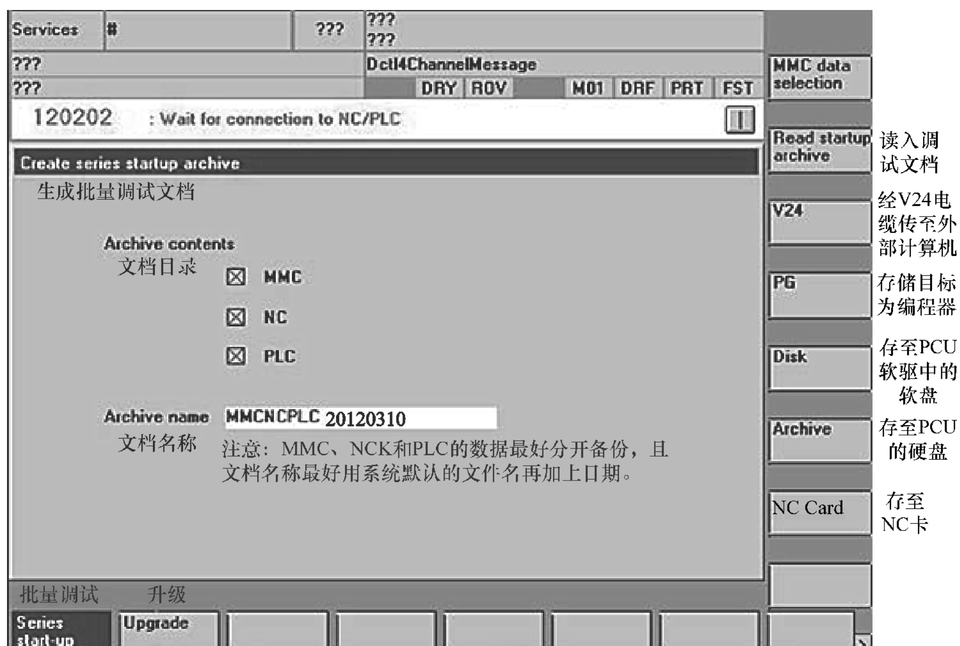


图 1-89 SINUMERIK 840D 系统数据的系列备份画面（内嵌式 HMI）

2）切断机床电源→将 NCU 模块上的电缆插头做好记号并一一拔掉→用螺钉旋具松开 NCU 模块的紧定螺钉→将 NCU 模块从 NCU Box 中抽出→将同型号的 NCU573.4 模块正确插入至 NCU Box 中→按标记将电缆插头对应接至 NCU 模块上。

3）重启机床电源后，观察 NCU573.4 模块上两列状态显示灯中的 +5V、PR、PS 和 PFO 灯全部点亮且 PF 灯闪亮。同时 OP 单元的显示屏上出现一个视窗：

Regie：

Warning：Application ‘MMC0’ didn’t post init complete!

Press <enter> and continue....

4）按下 OP 单元上的［Input］键后，系统继续加载并显示#120202 Wait for connection to NC/PLC 报警。依次按下［Menu Select］区域转换键和［Start-up］水平软键后，输入口令 SUNRISE 后显示：

Define password

Communication to NC failed

Password entry only possible for MMC

Please enter password

5）根据提示再次输入口令 SUNRISE 后，显示如下信息：

Start up

Communication error

If the error still occurs，trigger a NCK power on reset

If the error still occurs，switch the MMC and NCK off and on again。

Current access level：Manufacture（for MMC only）

6）进行 NC 总清：用一字形小螺钉旋具将 NCU573.4 模块上的 NCK 启动开关 S3 由 0 旋至 1（即 NCK 默认值启动模式），机床断电重启。若 NC 处于启动过程中，则可按一下 NCU573.4 模块上的 RESET/复位按钮 S1，控制系统和驱动复位并重新引导启动。待模块上的 7 段 LED 显示数字 6 后，将 NCK 启动开关 S3 由 1 拨回 0 位置（即 NCK 正常启动模式），此时 NC 总清完成，NCK 的 SRAM 内用户数据（如机床参数、刀具数据和固定循环及加工程序等）被全部清除掉，所有机器数据（Machine Data）被预置为默认值。

7）进行 PLC 总清：利用一字形小螺钉旋具将 NCU573.4 模块上的 PLC 模式选择开关 S4 由 0 旋至 2（即 PLC 停止运行模式），此时右列状态显示灯中的 PS 点亮呈红色。将 S4 由 2 旋至 3（即 PLC 模块复位模式）并保持约 3s 直至 PS 灯先熄灭再点亮呈红色。在 3s 内用螺钉旋具快速操作 S4，依次为 2→3→2，此时 PS 灯先闪烁再点亮呈红色，PF 灯也点亮呈红色（有时 PF 灯不亮）。将 S4 由 2 旋至 0 位置直至 PS 和 PF 灯熄灭，而 PR 灯点亮呈绿色（表示内装 PLC 处于运行状态）。PLC 总清完成，机床控制面板 MCP 不停地闪烁，面板上的功能键操作无效。

8）在机床的 PCU50 上进行 NC 数据和 PLC 数据的恢复，操作步骤为：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→依次按［Start-up］开机调试软键及［Set password］设置口令软键进入密码输入画面→输入保护等级 3 以上的口令后，按［OK］垂直软键以激活存储权限→再按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［>］（又称 ETC 键）和［Series Start-up］批量调试软键及［Read Start-up Archive］读入调试文档垂直软键→进入数据恢复画面（见图 1-90）并弹出归档文件夹的所有档案文件→移动光标分别选择 NC 和 PLC 存档文件→依次按下［Start］和［Yes］垂直软键开始数据的恢复。

9）对于安装了海德汉直线光栅尺的全闭环控制的数控落地镗铣床，回装 NC 数据时各伺服轴的绝对位置参考点随之被重新装入新更换的 NCU573.4 模块中，待 PLC 数据回装完毕且机床正常启动后，操作者可直接进行空负荷试机而无需重设参考点。

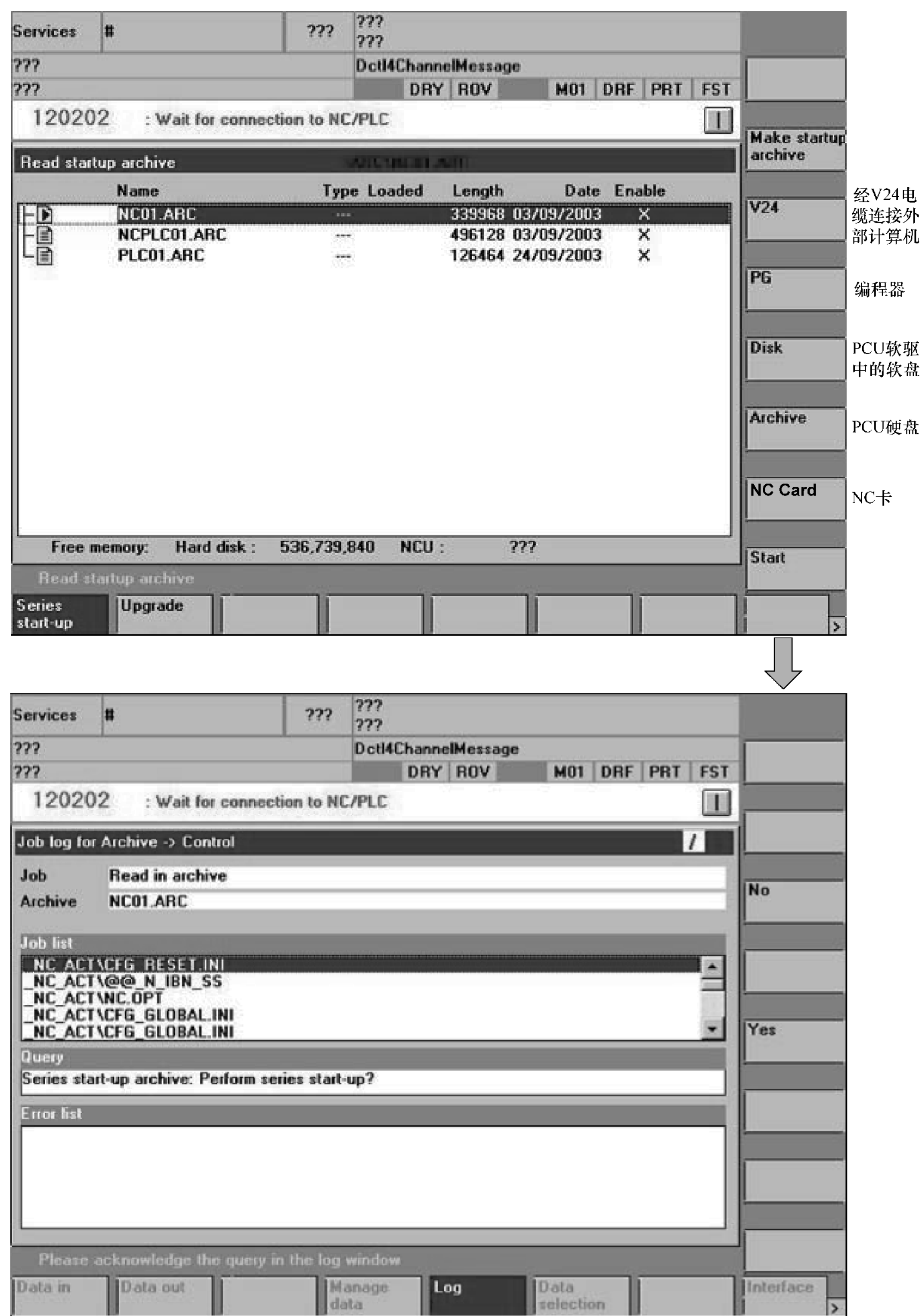


图 1-90 SINUMERIK 840D 系统数据恢复画面（内嵌式 HMI）

10）当使用高版本的NCU模块替换存在故障的NCU模块时，回装数据后OP单元的显示屏上可能会出现“#8022 Option‘activation of more than %1KB SRAM’ not set”报警（即选件‘大于%1KB SRAM的激活’未设置）。

① 出现#8022报警的原因：原有NCU模块中SRAM对应的MD18230 MM_ USER_ MEM_ BUFFERED（即SRAM中的用户存储器）较小，与新更换的高版本NCU模块中SRAM对应的MD18230不一致，用原有的备份数据回装系统时就会出现该报警。

② 解决办法：更换高版本的NCU模块后，执行NC总清和PLC总清并记录MD18230的设定值a。然后用原有的备份数据回装系统，回装结束后将记录的设定值a输入MD18230中，并进行NC数据的系列备份。最后重新回装一次NC数据即可消除#8022报警。

3. 840D系统中PCU组件的更换

SINUMERIK 840D系统选择配置的PCU50、PCU50.3或PCU70，实际是一台带有多点通信接口（MPI）的基于Windows NT4.0US或Windows XP操作平台的工业计算机，OP单元是该计算机的显示器。PCU50、PCU50.3或PCU70主要由566MHz/128MB、566MHz/256MB、1.2GHz/512MB或1.2GHz/1024MB的SDRAM，带传送机构的10GB可替换硬盘和DC24V电源及冷却风扇等组件组成；配置有MPI接口、LPT1并行端口、COM1（V24/TTY）和COM2（V24）串行端口、2通道的USB接口（内外各1个）及10/100Mbit/s的以太网可选RJ45接口等，可连接PS/2键盘和PS/2鼠标及外部磁盘驱动器；具有长度为265mm的1×PCI3/4（PCU50）或3×PCI3/4（PCU70）扩展插槽（PCU50）和长度为170mm的1×PCI/25A（PCU50）或1×PCI/ISA（PCU70）短形共享扩展插槽及1×PC卡（类型Ⅲ）扩展插槽。

受工业现场恶劣环境和PCU组件使用寿命的影响，PCU在使用过程中会出现硬盘损坏、DC24V电源不工作、冷却风扇不转以及电压为3V（PCU50/50.3，规格为A5E00331143）或3.6V（PCU70，规格为W79084－E1003－B1）的CMOS后备电池电量不足等故障，并需要对PCU中的硬盘、DC24V电源、冷却风扇或CMOS备份锂电池等组件进行更换。下面以国内某公司自德国进口的Oerlikon－C50型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机为例（采用SINUMERIK 840D系统，其人机界面由PCU50.3、OP012和MSTT 19in MCP组成，见图1-91），介绍PCU50.3中相关组件的更换过程。

1）PCU50.3的硬盘更换（见图1-92）：切断PCU50.3的电源→旋转黑色旋钮将硬盘的运输保险装置锁定至“非运行”位置→松开硬盘的4个紧固螺钉→将硬盘4向上折叠起来→从主板插座上拔出带状电缆5、供电电缆6和锁定电缆7→按相反的顺序安装同型号或与被替换硬盘兼容的新硬盘→旋转黑色旋钮将硬盘的运输保险装置解锁至“运行”位置即可。

2）PCU50.3的电源模块更换（见图1-93）：切断PCU50.3的电源→旋转黑色旋钮将硬盘的运输保险装置锁定至“非运行”位置→松开硬盘的紧固螺钉后移除硬盘→松开盖板紧固螺钉3并取下电源盖板4→松开电源模块的2个紧固螺钉5→拔掉电源模块上的连接电缆→从箱体中向上取出电源模块7→按相反的顺序安装同型号的电源模块→正确安装硬盘并旋转黑色旋钮将硬盘的运输保险装置解锁至“运行”位置即可。

3）PCU50.3机箱冷却风扇的更换（见图1-94）：切断PCU50.3的电源→松开箱体盖板螺钉并打开箱体→拔掉机箱冷却风扇上的连接电缆→松开风扇外壳后面的4个黑色塑料铆钉→取出损坏的冷却风扇→按相反的顺序安装同型号的机箱冷却风扇并确保气流方向正确。

4）PCU50.3备份锂电池的更换（见图1-95）：打开PCU50.3机箱后面的电池盒→松开电池固定器→断开电池与主板的连接电缆→从固定器上取下待更换的旧电池→在1min内将新电池安装在固定器上（否则CMOS上的时间和日期等备份数据将丢失）→重新插接电池与主板的连接电缆→将电池盒装在机箱后端。

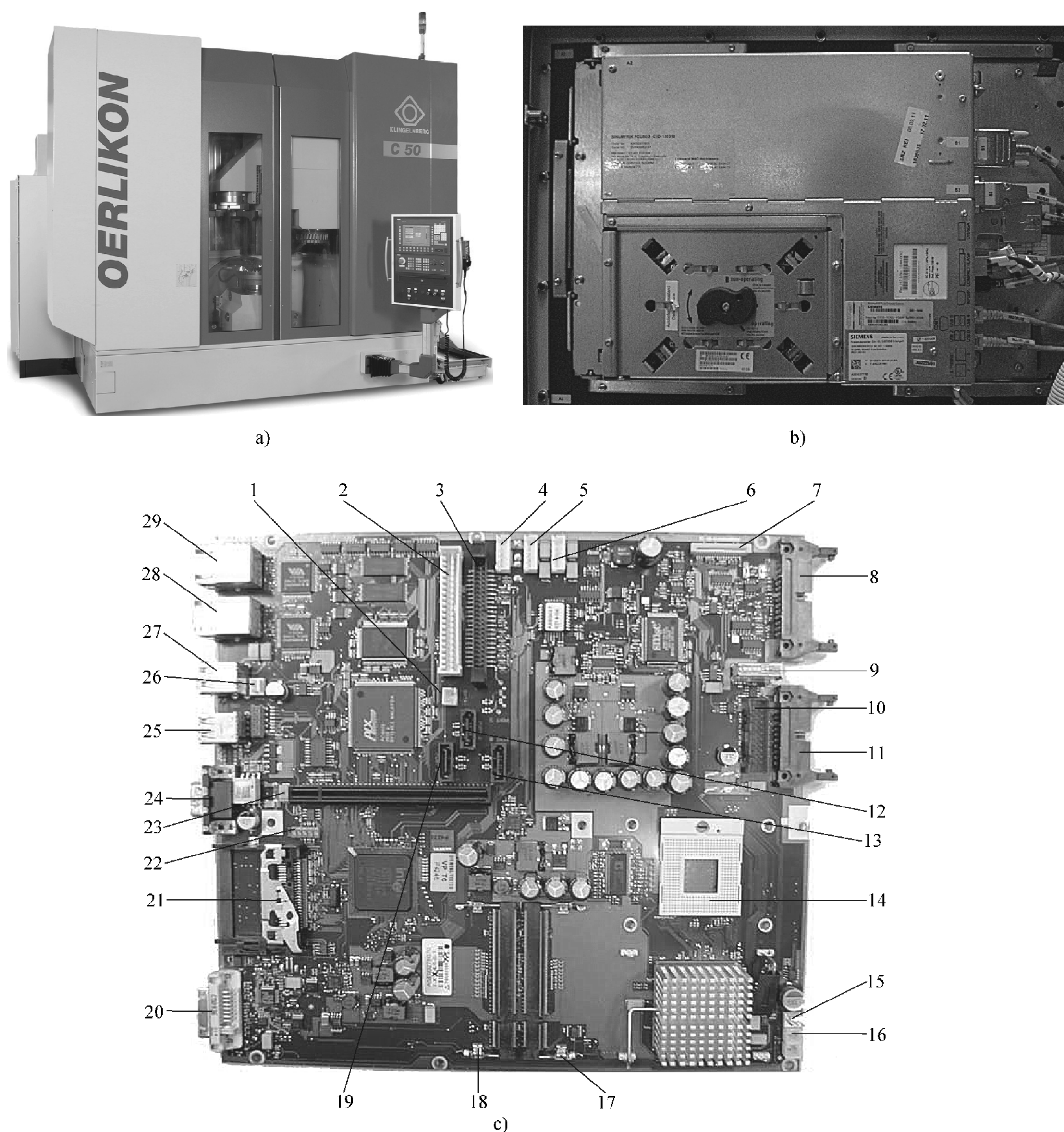


图 1-91 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机及其 PCU50. 3

a）Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机 b）PCU50. 3 背面图 c）PCU50. 3 主板接口

1—硬盘状态锁定接口 X607 2—电源输入接口 X13 3—可选并行 ATA 驱动接口 X3 4—串行 ATA0 的电源接口 X25 5—串行 ATA1 的电源接口 X26 6—串行 ATA2 的电源接口 X602 7—X45 8—I/O 接口 X44（连接 OP 单元） 9—带 USB2. 0 的操作面板接口 X42 10—X402 11—LVDS 接口 X400（连接 TFT 显示器） 12—串行 ATA2 接口 X52 13—串行 ATA0 接口 X50 14—中央处理器接口 X1 15—机箱风扇电源接口 X128 16—CMOS 备份电池接口 X24 17—Memory 接口 X20 18—Memory 接口 X19 19—串行 ATA1 接口 X51 20—DVI－I 接口 X302 21—CF 卡插槽 X4 22—USB 接口 X43 23—Bus 扩展插槽 X10 24—接口 X600 25—USB4 接口 X41 26—CPU 风扇电源接口 X129 27—USB0 接口 X40 28—Ethernet2 接口 X500 29—Ethernet1 接口 X501

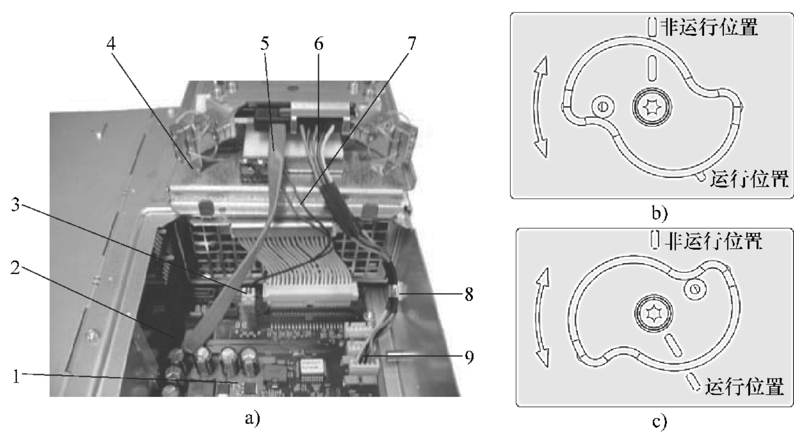


图 1-92　PUC50. 3 的硬盘更换

a）硬盘的连接　b）硬盘的锁定　c）硬盘的解锁

1—PCU50. 3 的主板　2—接口 X50　3—接口 X607　4—折叠后的硬盘　5—带状电缆

6—硬盘电源供电电缆　7—锁定电缆　8—电缆紧固夹　9—接口 X602

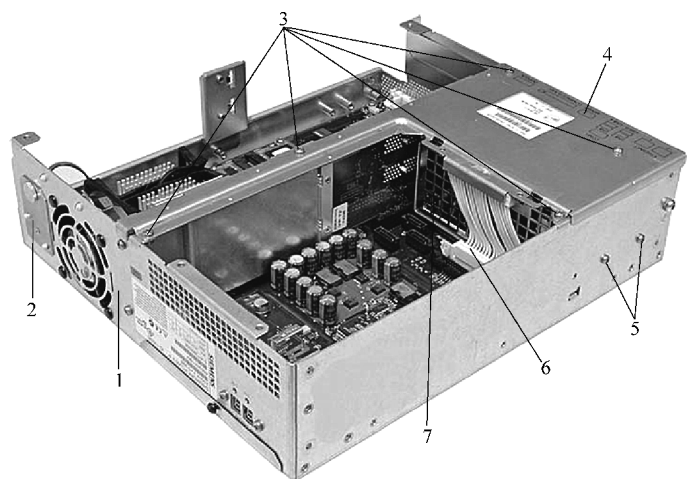


图 1-93　PCU50. 3 的电源模块更换

1—PCU50. 3 机箱　2—电池盒　3—盖板紧固螺钉　4—电源盖板

5—电源模块紧固螺钉　6—主板上电源输入接口 X13　7—电源模块

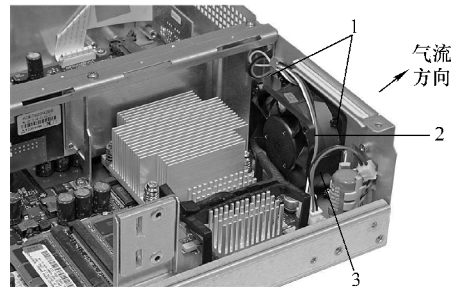


图 1-94　PCU50. 3 的机箱冷却风扇更换

1—安装风扇的膨胀铆钉　2—机箱风扇电源线（X128）　3—机箱冷却风扇

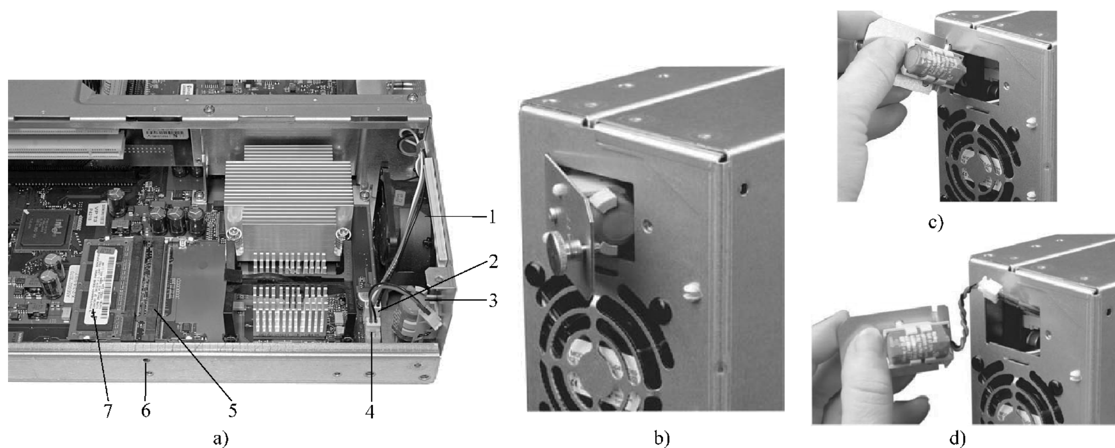


图 1-95 PCU50.3 备份锂电池的更换

a）备份电池在主板上的位置 b）打开电池盒 c）松开电池固定器 d）断开电池连接线

1—机箱冷却风扇 2—风扇电源线（X128） 3—备份锂电池 4—电池连接线（X24）

5—Memory 接口 X20 的底座 6—模块导座的固定孔 7—Memory 接口 X19

1.8 SINUMERIK 840D solution line 系统

SINUMERIK 840D solution line（简称 840Dsl）是西门子公司为适用于车削、铣削、磨削、剪切和冲压及激光加工等所有工艺功能而开发的一款基于 SINUMERIK Operate 友好用户界面（即 HMI - advanced 与 ShopMill 和 ShopTurn 的完美结合）的高性能开放式模块化的中高档数控系统，被广泛应用于航空、汽车、工具（含刀具）和模具制造及玻璃加工等各种高速切削和精密加工等领域。既适合大批量生产的加工，又能满足单件小批量生产的要求。840Dsl 系统将 CNC、HMI、PLC、驱动闭环控制和通信任务完美地集成于一个 SINUMERIK NC 单元（被称为 NCU，如 NCU710.2、NCU720.2 和 NCU730.3 等）中，还可配置带硬盘的 PCU50.3 或不带硬盘的 TCU、带有薄膜式/机械式按键的 7.5 ~ 15in 显示屏、Mini 手轮或手持终端 HT2 或便携式手持终端 HT8；可通过 DRIVE - CLiQ 接口与基于 DSC（动态伺服控制）闭环位置控制技术的模块型、书本型或装机装柜型的 SINAMICS S120 驱动器进行通信，还可通过系统内置的具有以太网功能（取代外挂通信处理器）的以太网接口实现本机与公司网络及其他 CNC 机床的通信；可连接具有高动态性能的 1FT7/1FK7/1FE1/2PN1/1FN3/1FN6 同步电动机，还可连接具有不同冷却方式的 1PH4/1PH7/1PH8/1PM4/1PM6 异步电动机。

1.8.1 SINUMERIK 840D solution line 的结构组成

（1）840Dsl 系统的硬件 包括数控装置 NCU（NC - CPU 和 PLC - CPU）、HMI 人机界面、伺服驱动装置和 SIMATIC S7 - 300 I/O 模块及伺服电缆等部分。SINUMERIK 840Dsl 系统的硬件组成如图 1-96 所示。

1）数控装置：840Dsl 的 NCU 模块集成了 CNC、HMI、PLC、驱动闭环控制和通信任务，是 840Dsl 的中央控制单元。根据处理器性能的高低，NCU 模块可分为基础性能等级的 NCU710.2、中等性能等级的 NCU720.2 和 NCU720.2PN、最高性能等级的 NCU730.2 和 NCU730.2PN，具体特点见表 1-33。当系统的控制轴数较多时，可通过 NX10 模块（最多控制 3 轴）或 NX15 模块（最多控制 6 轴）来增强 840Dsl 系统的驱动控制性能，并且 NX 模块经由 DRIVE - CLiQ 接口（X100）以星形方式直接连接至 NCU 模块上。

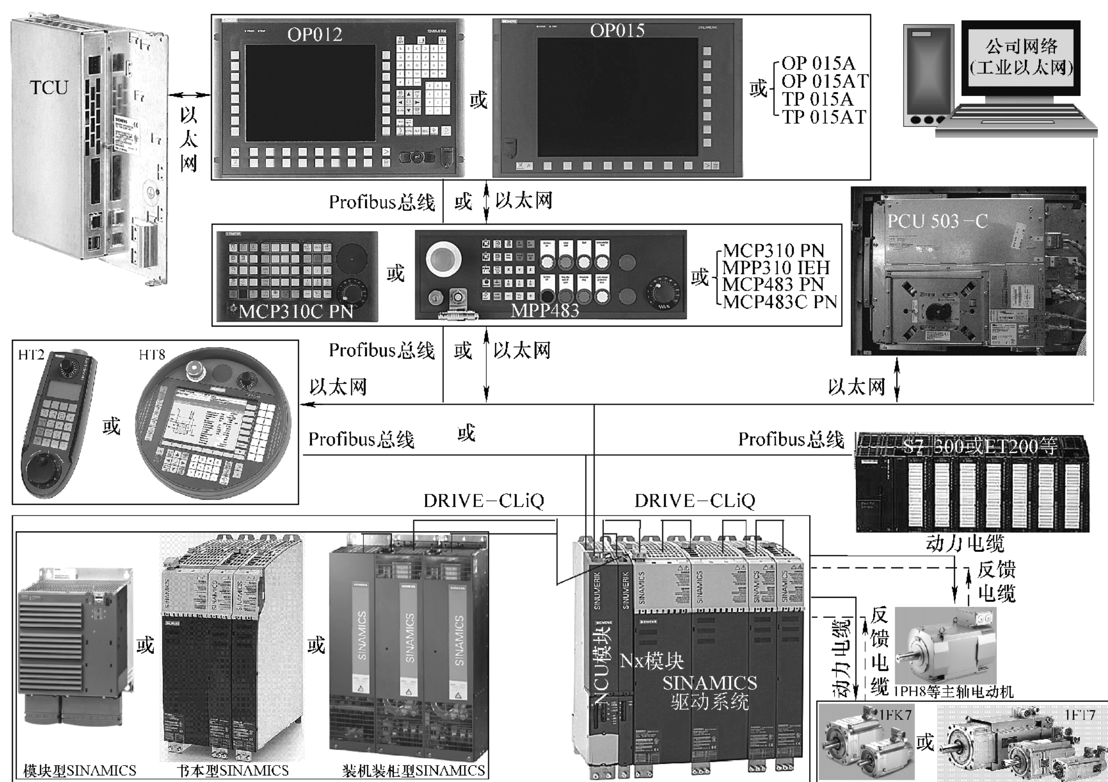


图 1-96　SINUMERIK 840Dsl 系统的硬件组成

表 1-33　SINUMERIK 840Dsl 中 NCU 模块的特点

特　　点	NCU710. 2	NCU720. 2/720. 2PN	NCU730. 2/730. 2PN
加工通道数	最多 2 个	最多 10 个	最多 10 个
控制轴数	最大 6 轴	最大 31 轴	最大 31 轴
单通道控制轴数	最大 6 轴/主轴	最大 12 轴/主轴	最大 12 轴/主轴
NCU 中 CNC 软件的插补轴数	最大 6 轴	最大 12 轴	最大 12 轴
CNC 用户内存容量	3MB，扩展 9MB	3MB，扩展 15MB	3MB，扩展 15MB
DRIVE－CLiQ 接口	4	6	6
集成 ProfiNET 接口	无	前者没有该接口，后者则带 ProfiNET I/O 和 ProfiNET CBA 的集成 ProfiNET 接口	前者没有该接口，后者则带 ProfiNET I/O 和 ProfiNET CBA 的集成 ProfiNET 接口
NX10/15 扩展板	最大 2 块	最大 3 块	前者最大 3 块，后者最大 5 块
TCU	最大 2 块	最大 4 块	最大 4 块
集成 PLC－CPU 型号	PLC317－2DP	前者 PLC317－2DP，后者 PLC319－3PN/DP	前者 PLC317－2DP，后者 PLC319－3PN/DP
订货号	6FC5371－0AA10－0AA1	前者 6FC5372－0AA00－0AA2，后者 6FC5372－0AA01－0AA2	前者 6FC5373－0AA00－0AA2，后者 6FC5373－0AA01－0AA2

2）人机界面：主要包括操作面板、高度集成的 PCU50.3 或薄型客户单元 TCU 和机床控制面板及 Mini 手轮或手持终端 HT2/HT8 等。

① OP 单元：一般包括一个 12/15/19in TFT 显示屏和一个 NC 键盘，相当于工业计算机的显示器和键盘鼠标。其作用是显示数据和图形并提供人机显示界面，可实现程序和参数的编辑、修改及软键等操作。根据用户要求，可选择配置 OP012、OP015、OP015A、OP015AT、TP015 和 TP015AT 等 OP 单元。

② PCU50.3 或 TCU：840Dsl 可选择配置带 40GB 硬盘的 PCU50.3（其中 12GB 用于存储高级 HMI 和 MCIS 软件等应用程序以及存储零件程序、文件和其他数据，15GB 用于本地备份和安装所需软件）或不带硬盘的薄型客户单元 TCU。

a. PCU50.3 采用了高性能的英特尔移动处理器技术，并装有 Windows XP ProEmbSy 操作系统。目前有 PCU50.3 – C（英特尔赛扬处理器和 512MB 的 SDRAM，订货号 6FC5210 – 0DF31 – 2AA0）和 PCU50.3 – P（英特尔奔腾处理器和 1GB 的 SDRAM，订货号 6FC5210 – 0DF33 – 2AA0）两种规格，具有 2 个以太网 RJ45 接口、4 个 USB2.0 接口、1 个 Profibus/MPI 接口、1 个 RS232 COM1 接口和 2 个 PCI 扩展插槽及 1 个 CF 卡插槽。

b. 适于分布式安装的可连接 USB 键盘和 USB 鼠标的薄型客户单元 TCU（见图 1-97），通过 10/100Mbit/s 的工业以太网（PCU 作为 DHCP 服务器）与 PCU50.3 模块实现连接，从而把大型机床上的用户界面复制到 1 个或多个 OP 单元上。注意：每个 OP 单元须配置 1 块 TCU，且最多可同时操作的 5 个相同的分布式操作面板中允许有 4 块 TCU。

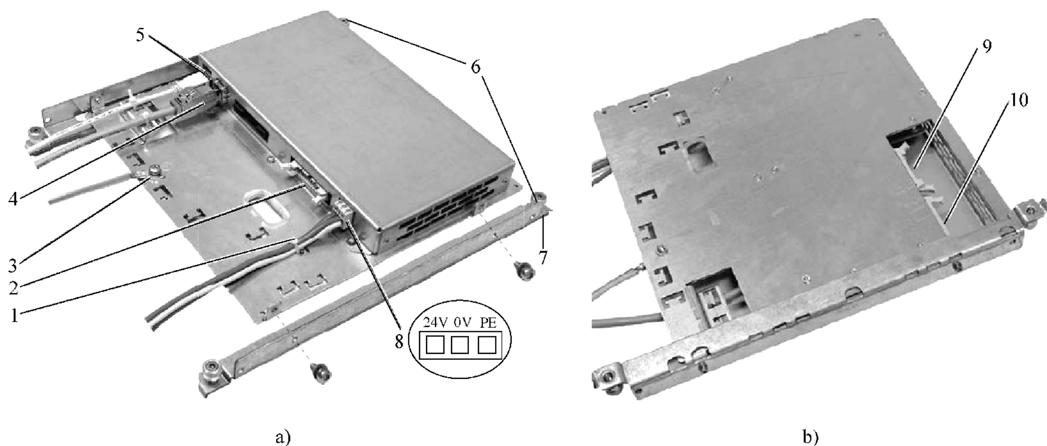


图 1-97 TCU 实物图

a）TCU 正面图 b）TCU 背面图

1—固定扎带 2—预留接口 X205 3—接地螺钉 4—以太网接口 X202 5—USB 接口 X203 和 X204
6—安装支架 7—固定钩爪 8—24V 电源输入 X206 9—显示电缆 K2（X208） 10—扁平电缆 K1（X207）

③ MCP：840Dsl 系统既可经由工业以太网选择配置带薄膜式按键的 MCP310PN 和 MCP483PN 或带机械式按键的 MCP310CPN 和 MCP483CPN，又可经由 Profibus 总线选择配置带薄膜式按键的 MCP310 和 MCP483。除此之外，还可配置机床制造厂商设计的专用操作面板。注意：MCP 在通信中的 IP 地址或总线地址的设定。

对于 MCP□PN 与 MCP□CPN（□为 310 或 483），需先将 MCP 背面的 10 位地址开关 S2 的位 9 和位 10 设为“OFF”状态，以许可工业以太网通信，需通过拨动 S2 的位 1（20）至位 8（27）为 MCP 分配一个与 PLC 参数赋值相同的地址（0～255）。对于 MCP□（□为 310 或 483），需先将 MCP 背面的 10 位地址开关 S3 的位 9 和位 10 设为“ON”状态，以许可 Profibus 通信，再通过

拨动 S3 的位 1（2^0）至位 7（2^6）为 MCP 分配一个不存在冲突的总线地址（0～126）。

④ Mini 手轮和手持终端 HT2/8（见图 1-98）：Mini 手轮需通过转接插头连接至 840Dsl 的 MCP□PN（□为 310 或 483）上，手持终端 HT2/8 需通过接口模块（如 PN Basic、PN Plus 或 Basic PN 等）接入 840Dsl 的系统网络中。

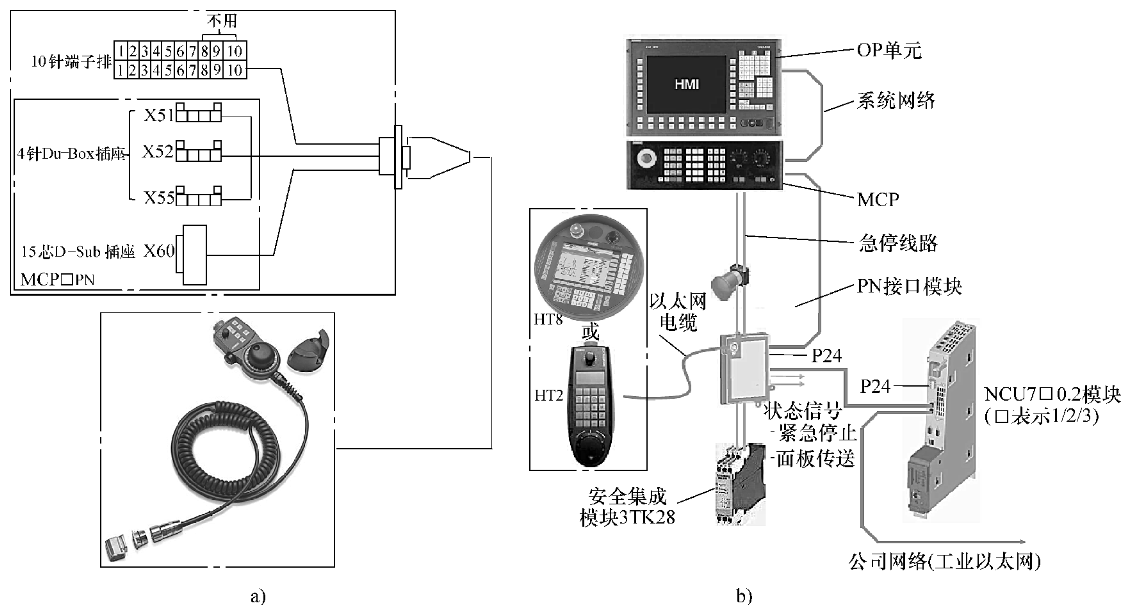


图 1-98　Mini 手轮和手持终端 HT2/8 与 840Dsl 的连接

a）Mini 手轮与 MCP□PN 的连接　b）手持终端 HT2/8 与 NCU 模块的连接

3）伺服驱动装置：840Dsl 系统配套使用带有 DRIVE－CLiQ 接口的基于 DSC（动态伺服控制）闭环控制技术的单轴 AC/AC 模块型、书本型或装机装柜型 SINAMICS S120 驱动器。具有更高控制精度和动态控制特性及更高可靠性的 S120 驱动器不仅采用了最先进的硬件技术和软件技术及通信技术，还采用高速驱动接口控制具有电子名牌的永磁同步伺服电动机（系统可自动识别所配置的驱动系统）。

① 单轴 AC/AC 模块型驱动器（见图 1-99）：由控制单元适配器 CUA31 和功率模块 PM340 两部分组成，并经由 DRIVE－CLiQ 接口实现 840Dsl 和 PM340 的通信，主要用于机床单轴的速度和定位控制。

② 书本型驱动器：其结构型式为电源模块（PM，亦称整流单元或回馈单元）和电动机模块（MM，亦称逆变器）各自独立，一个电源模块可将三相交流电整流为 540V 或 600V 的直流电，并将一个或多个电动机模块连接至该直流母线上，尤其适用于数控机床的多轴控制。其中电源模块全部采用馈能制动方式并配置电抗器，根据是否带回馈功能及回馈方式的不同，可将电源模块分为基本型 BLM、非调节型/智能型 SLM 和调节型/主动型 ALM 三种。

③ 装机装柜型驱动器：其结构型式与书本型驱动器类似，电源模块和电动机模块各自独立，主要用于输出功率超过 100kW 的场合。

④ SINAMICS S120 驱动器的电动机模块可连接 1FT7/1FK7/1FE1/2PN1/1FN3/1FN6 同步电动机，用于进给伺服轴的驱动。同时可连接具有不同冷却方式的 1PH4/1PH7/1PH8/1PM4/1PM6 异步主轴电动机，用于主轴的驱动。

4）PLC 的 I/O 模块：840Dsl 系统内含一个 Profibus 接口 X126 和一个由 PLC 硬件配置确定的 DP/MPI 接口 X136。这两个接口用来支持 SIMATIC S7－300 的所有 Profibus I/O 接口模块，如

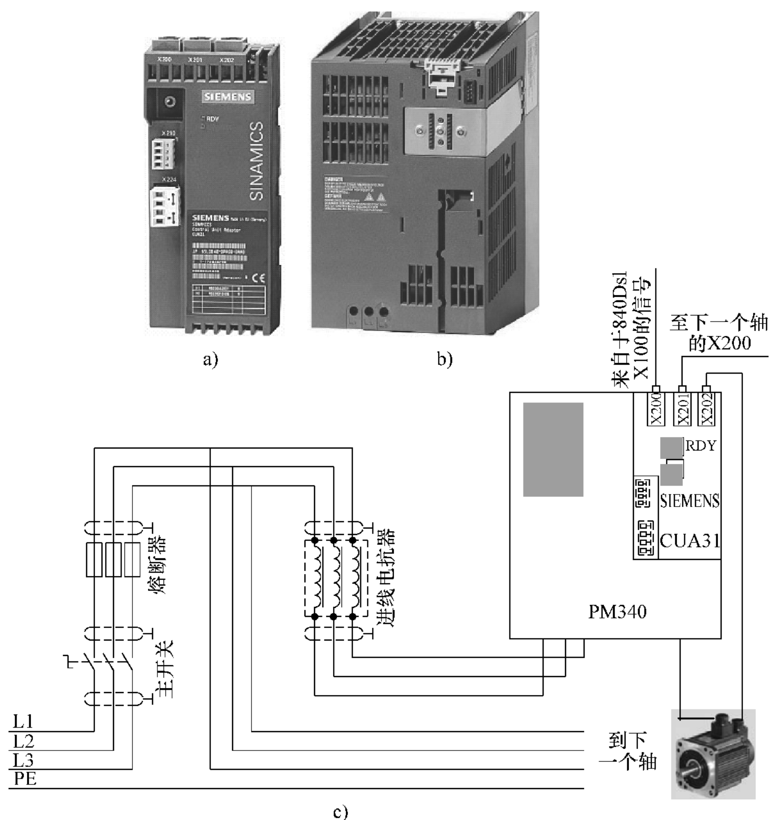


图 1-99 单轴 AC/AC 模块型驱动器的组成与连接
a）CUA31 b）PM340 c）驱动器的连接

PP72/48 输入/输出模块、ET200M（由 IM153 接口模块和 SM321 或 SM322 输入/输出模块组成）、ET200S 和 ET200Pro 等接口模块（见图 1-100），但不支持 IM361 接口模块。

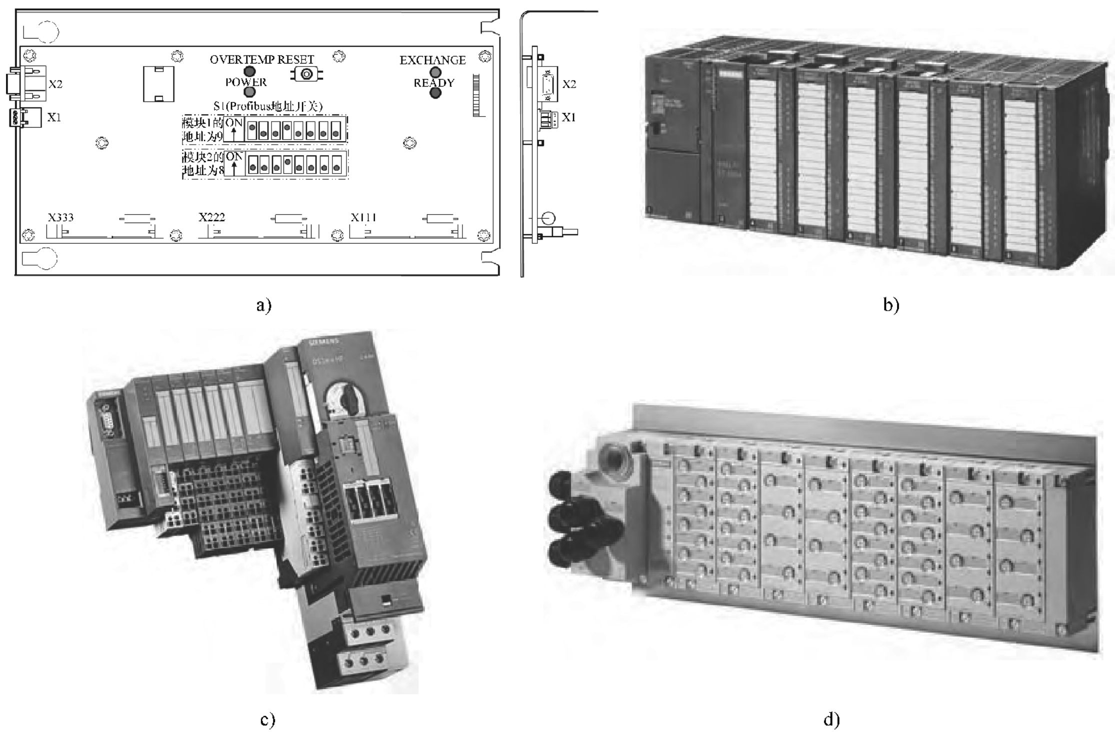
5）伺服电缆：包括 NCU 模块连接 PCU50.3/TCU、MCP 和 OP 单元及手持终端 HT2/HT8 等操作部件的以太网电缆，NCU 模块连接 PP72/48 输入/输出模块、ET200M、ET200S 或 ET200Pro 等接口模块的紫色 Profibus 双芯屏蔽电缆，SINAMICS S120 与 NCU 模块和电动机编码器相连接的 DRIVE－CLiQ 信号电缆，以及 S120 与 1FT7 等同步电动机和 1PH8 等异步电动机相连接的动力电缆（分带制动器和不带制动器两种情况）等，如图 1-101 所示。

（2）软件组成　SINUMERIK 840Dsl 的软件由保存在 CF 卡上的系统软件和随机工具盒软件（与系统软件相匹配）组成。

1）CF 卡上的系统软件：该卡是 840Dsl 系统开机调试和正常运行的前提条件，它不仅包含用于 HMI、NCK、PLC 和驱动的 CNC 软件，而且还包含硬件序列号和许可证信息及许可证密匙（位于路径/card/keys/SINUMERIK 下的 keys. txt 文件中）。当版本为 2. ＊＊的 CNC 软件（＊表示数字，其他软件版本不能升级）升级时，CF 上/user、/addon、/oem 目录中的所有用户数据及许可证密匙将被保留。

2）随机工具盒软件：主要包含用于内置 PLC 编程的 SW5.4 或更高版本的 Step7 软件，用于驱动调试的 HMI Advance 或 IBN Tools（版本 7.6SP1 或更高）软件，在 Step7 中安装 840Dsl 硬件配置和库文件等所需的 Toolbox 工具盘［见图 1-102，其中第 1 项（PLC 基本程序）和第 2 项（S7 添加 SINUMERIK 部件和硬件信息更新）必须安装，第 3 项（NC 变量选择器）和第 4 项

（PLC 符号转换器）为可选择安装。当出现 Tool box 安装错误时，请单独安装/PLC BP 和/s7hw 目录下的文件］，基于 Windows 或 Linux 操作平台的随 HMI 软件一起安装且用于 NCU 通信和更新系统用户报警文本的 WinSCP 软件，经系统 VNC 服务器可显示内置 HMI 操作界面和 NCU 控制台的 Vncviewer 软件，以及 SINAMICS S120 的调试软件 Starter 等。



a)　b)　c)　d)

图 1-100　840Dsl 系统可选用的 PLC I/O 模块

a）PP72/48 输入/输出模块　b）带电源模块的 SIMATIC ET200M　c）SIMATIC ET200S　d）SIMATIC ET200Pro



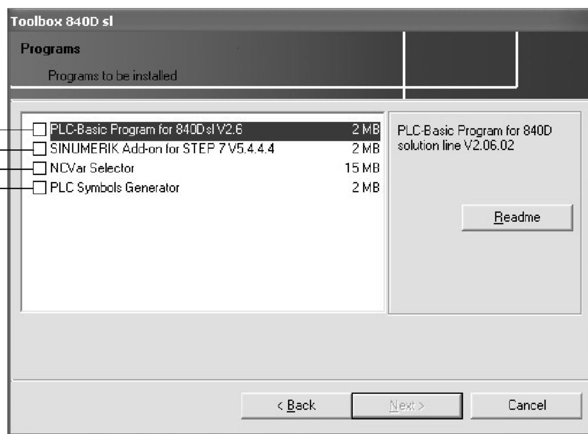
a)　b)　c)　d)

图 1-101　SINUMERIK 840Dsl 的伺服电缆

a）Profibus 总线电缆　b）DRIVE－CLiQ 信号电缆　c）电机连接动力电缆　d）电源模块连接电缆

8x0d
020606 <-- 840Dsl 的Toolbox
BSP_PROG <-- PLC 子程序示例
PLC.INF
PLC_BP <-- PLC 库/基本程序
PLCALARM <-- PLC 报警文本模板
certificate <-- 安全集成功能验收证书模板
examples_tools
GSD <-- Profibus 部件的GSD 文件
HWM <-- 手轮连接模板的GSD 文件
MCP_310_483 <-- Profibus MCP的GSD 文件
MPP <-- 机床按钮面板的GSD文件
PP72_48 <-- PP 输入/输出模板的GSD文件
GSDML <-- ProfiNET 部件的GSD文件
MCP-PN <-- MCP/MPP的GSD文件
PP72_48-PN <-- PP72_48 PN的GSD文件
ncvar <-- NC变量选择器(32位)
s7hw <-- Step7 添加SINUMERIK部件及硬件信息更新
symgen <-- PLC 符号转换软件

a)



b)

图 1-102 840Dsl 系统 Toolbox 工具盘中的内容及其安装

a）Toolbox 工具盘中的内容 b）双击 Toolbox 根目录下 Setup. exe 后的安装界面

1.8.2 SINUMERIK 840D solution line 的功能连接

（1）NCU 模块的接口 840Dsl 的 NCU710.2、NCU720.2/720.2PN、NCU730.2/730.2PN 等模块上不仅有 DRIVE－CLiQ 接口 X100～X105（NCU710.2 上仅有接口 X100～X103）、以太网接口 X120/X130、Profibus－DP 接口 X126/X136/X127 和 USB 接口 X125/X135 及 CF 卡插槽 X109 等，还有标签为 SIM/NCK 的 NCK 开机调试开关和标签为 PLC 的 PLC 运行方式开关，以及用于各种故障/状态显示的状态显示灯（如 RDY、RUN 和 STOP 等）。NCU 模块的接口布置及启动开关和状态显示灯如图 1-103 所示。

DRIVE－CLiQ接口
掩护式支架
数字输入接口X122
数字输出接口X132
DC 24V输入接口X124 (1、2脚和3、4脚短接)
扩展插槽(RS232模块或NCU Link模块)
以太网接口X120(系统网络)
以太网接口X130(公司网络)
Profibus－DP1接口X126
Profibus－DP2/MPI接口X136
USB接口X125和X135
CF卡插槽X109
DAC测量端子X131～X134 (T0～T2分别为测量端子0～2，M为测量参考点)
故障和状态显示LED
以太网服务接口X127
7段LED
NCK开机调试开关
接地螺钉M5/3N·m
保护地连接螺钉M5/3N·m
PLC运行方式开关
复位键/RESET
RS232接口X140(下面)
卡钩
双风扇/电池模块X190
电池
风扇
直流母线
铭牌
Profibus等电位连接端
散热片
间隔体

NCU上启动开关和状态显示灯的含义

元素	类型	含义	备注
复位键/RESET	按钮	触发一个硬件复位：控制和驱动复位后将完整重起	
NCK开机调试开关(左)	旋转开关	位置0：NCK正常启动	
		位置1：NCK数据总清	
		位置8：显示端口X130的IP地址	
PLC运行方式开关(右)	旋转开关	位置0：PLC正常运行且可修改PLC程序	
		位置1：PLC正常运行且不可修改PLC程序	
		位置2：PLC停止运行	
		位置3：PLC总清	
状态显示灯(自上而下)	显示灯	RDY：NCU准备好指示，至少有一个设备有故障(如RESET或看门狗等)，或者系统正在启动过程中	红色
		RDY：以0.5Hz的频率呈红/黄色快速闪烁，表明NCU读取CF卡数据错误	红/黄快闪
		RDY：点亮呈黄色时，表明NCU正在读取CF卡	黄色
		RUN：PLC运行指示，点亮呈绿色时表明PLC准备好	绿色
		STOP：PLC停止运行指示	黄色
		SU/PF：PLC强制激活指示	红色
		SF：PLC组错误指示	红色
		DP1：Profibus－DP1总线错误指示	红色
		DP2：Profibus－DP2总线错误指示	红色
		OPT：不亮时表明ProfiNET系统运行正常	不亮
		OPT：点亮呈红色时表明总线错误或传输速率错误	红色
		OPT：以2Hz的频率呈红色闪烁时表明I/O故障或配置错误	红色闪烁
7段LED		NCU正常启动后7段LED显示6且右下角RUN状态灯持续点亮呈绿色	

图 1-103 SINUMERIK 840Dsl 中 NCU 模块的接口布置及启动开关和状态显示灯

通常，840Dsl 的 NCU 模块可通过其以太网接口 X120（系统网络）和 X130（公司网络）与 PCU50.3/TCU 和 MCP 等操作部件实现三种不同形式的连接（见图 1-104）。第一种为 NCU 模块＋机床控制面板＋薄型客户单元＋OP 单元，该形式的连接可在 OP 单元上显示 NCU 内置的 HMI

（SINUMERIK Operate）而不需做任何调整，且具有兼容性最好和网络功能完善的特点；第二种为 NCU 模块 + 机床控制面板 + PCU50.3 + OP 单元，该形式的连接仅能在 OP 单元上显示 PCU50.3 所安装的与 NCU 软件版本相匹配的 SINUMERIK Operate 或 SW7.6SP1 及更高版本的高级 HMI，但需要关闭 PCU50.3 的 DHCP Server（操作步骤：双击 Windows XP 桌面上的“System Network Center”图标→在 TCU support 项目栏下选择 No boot support→关闭 PCU50.3 的 DHCP、TFTP 和 FTP 功能，见图 1-105a）和 NCU 系统内置的 HMI（操作步骤：在 WinSCP 的终端窗口下执行“sc disable hmi”从而关闭 NCU 系统的内置 HMI，见图 1-105b）等功能；第三种为 NCU 模块 + 机床控制面板 + PCU50.3 + 薄型客户单元（1 个或多个） + OP 单元，该形式的连接可在薄型客户单元上显示 PCU50.3 所安装的 HMI，但需要关闭 PCU50.3 的 DHCP Server 和 NCU 系统内置的 HMI 等功能，且在 NCU 的网络设置中指定 TCU 默认显示为 server［操作步骤：在 WinSCP 的/card/user/TCUn（n = 1，2，3…）/common/tcu 目录下建立 1 个不带后缀的 config 文件，config 文件中的内容为 VNCServer = 192.168.214.241：0：password，见图 1-105c］。

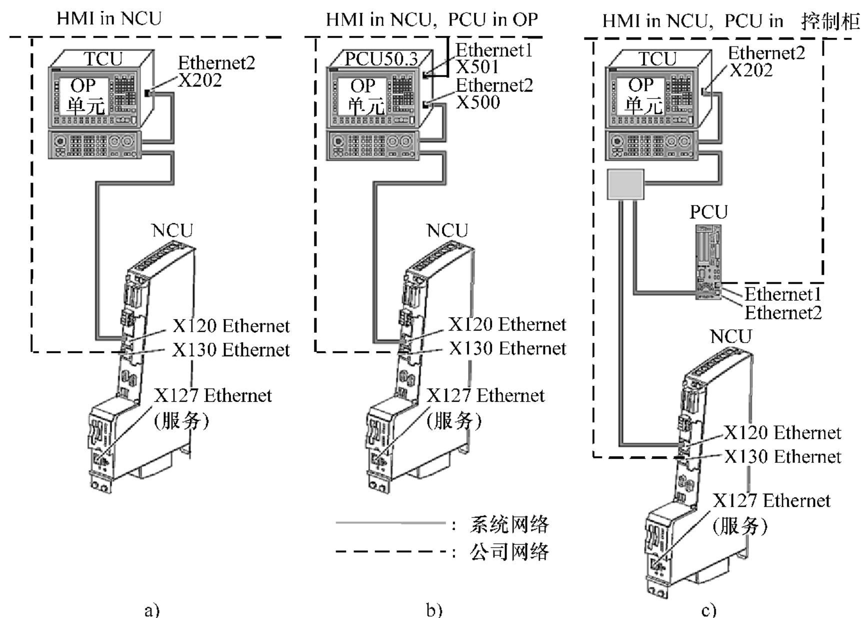


图 1-104　NCU 模块与 PCU/TCU 等操作部件的三种配置形式

a）NCU + MCP + TCU + OP　b）NCU + MCP + PCU50.3 + OP　c）NCU + MCP + PCU50.3 + TCU + OP

（2）NX 模块的接口及硬件配置　如图 1-106 所示，当系统的控制轴数较多时，可通过 NX10 模块（最多控制 3 轴，订货号 6SL3040 – 0NC00 – 0AA0）或 NX15 模块（最多控制 6 轴，订货号 6SL3040 – 0NB00 – 0AA0）来增强 840Dsl 系统的驱动控制性能，且 NX 模块经由 DRIVE – CLiQ 接口（X100）以星形方式直接连接至 NCU 模块上（参见后续 840Dsl 系统及组件的连接图）。连接时需要在站点地址为 3 的 Profibus3（即 NC 系统与 SINAMICS 驱动通信的总线）上对 NX 模块进行硬件配置，操作步骤为：双击 S7 – 300 站中的 Hardware 进入硬件配置画面（见图 1-106b）→在硬件列表中 PROFIBUS DP 的 SINAMICS 目录下找到相应的 NX 模块并将其拖动至配置窗口内的 Profibus3 总线上（见图 1-106c）→根据选用的 NCU 模块在弹出的窗口中设定 NX 模块在 Profibus3 总线上的地址（见图 1-105d，如连接于 NCU720 模块的 X105 接口上的 NX 模块在 Profibus3 总线地址应为 15）→总线地址修改完毕后，依次单击［OK］按键即可完成 NX 模块的硬件配置。

（3）对于 PCU50.3、MCP、OP 单元和 PP72/48 I/O 模块的接口布置及连接　读者可参见前面章节的相关介绍。

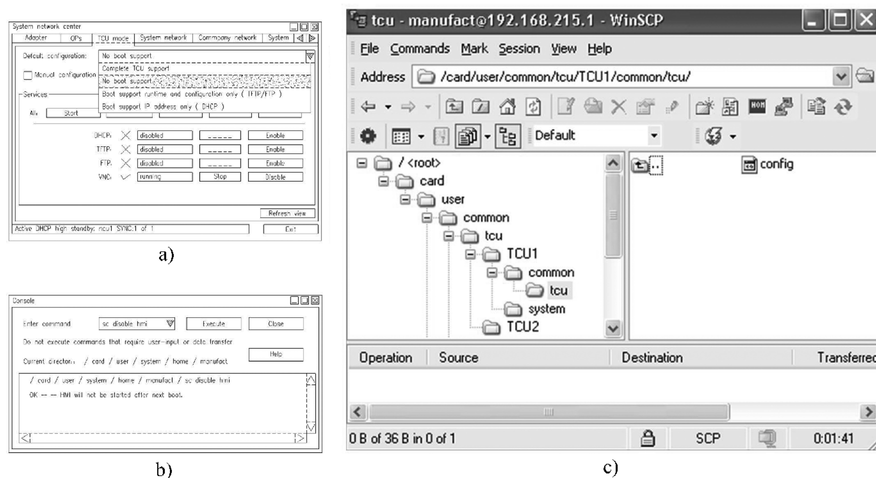
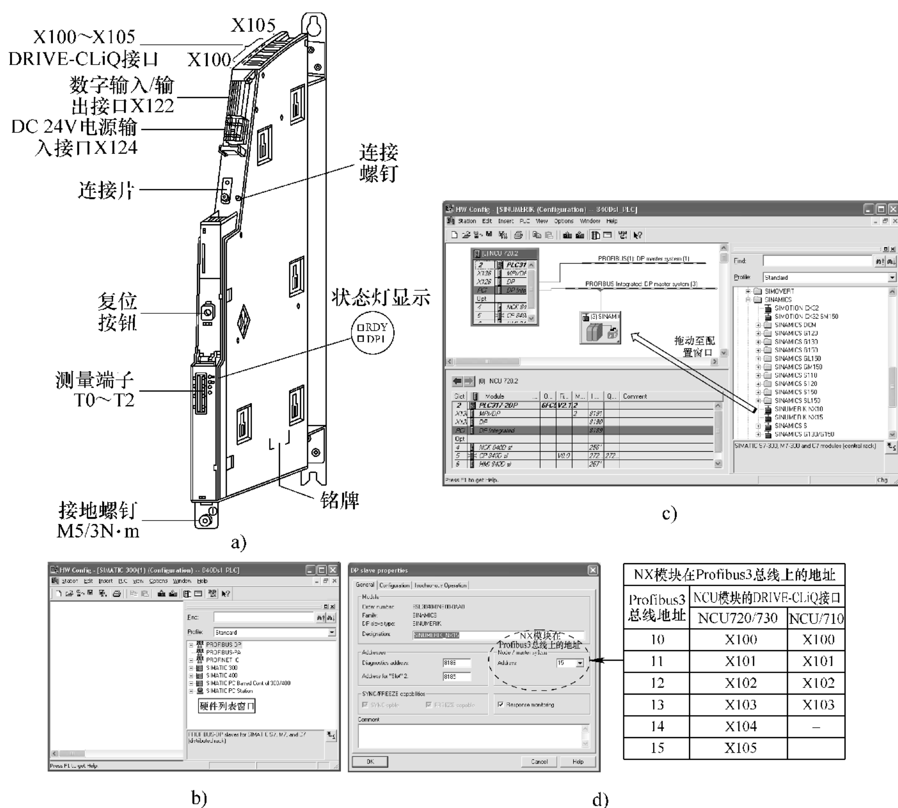


图 1-105　PCU50.3 上安装 HMI 时所进行的相关配置

a）关闭 PCU50.3 的 DHCP Server 等功能　b）关闭 NCU 系统内置的 HMI

c）NCU 网络设置中指定 TCU 默认显示为 server



NX模块在Profibus3总线上的地址		
Profibus3总线地址	NCU模块的DRIVE-CLiQ接口	
	NCU720/730	NCU/710
10	X100	X100
11	X101	X101
12	X102	X102
13	X103	X103
14	X104	–
15	X105	

图 1-106　SINUMERIK 840Dsl 中 NX 模块的接口布置及硬件配置

a）NX 模块的接口布置　b）硬件配置画面　c）NX 模块拖动至 Profibus3 总线上

d）NX 模块在 Profibus3 总线上的地址设定

（4）SINUMERIK 840Dsl 系统及组件的连接　如图 1-107 所示。

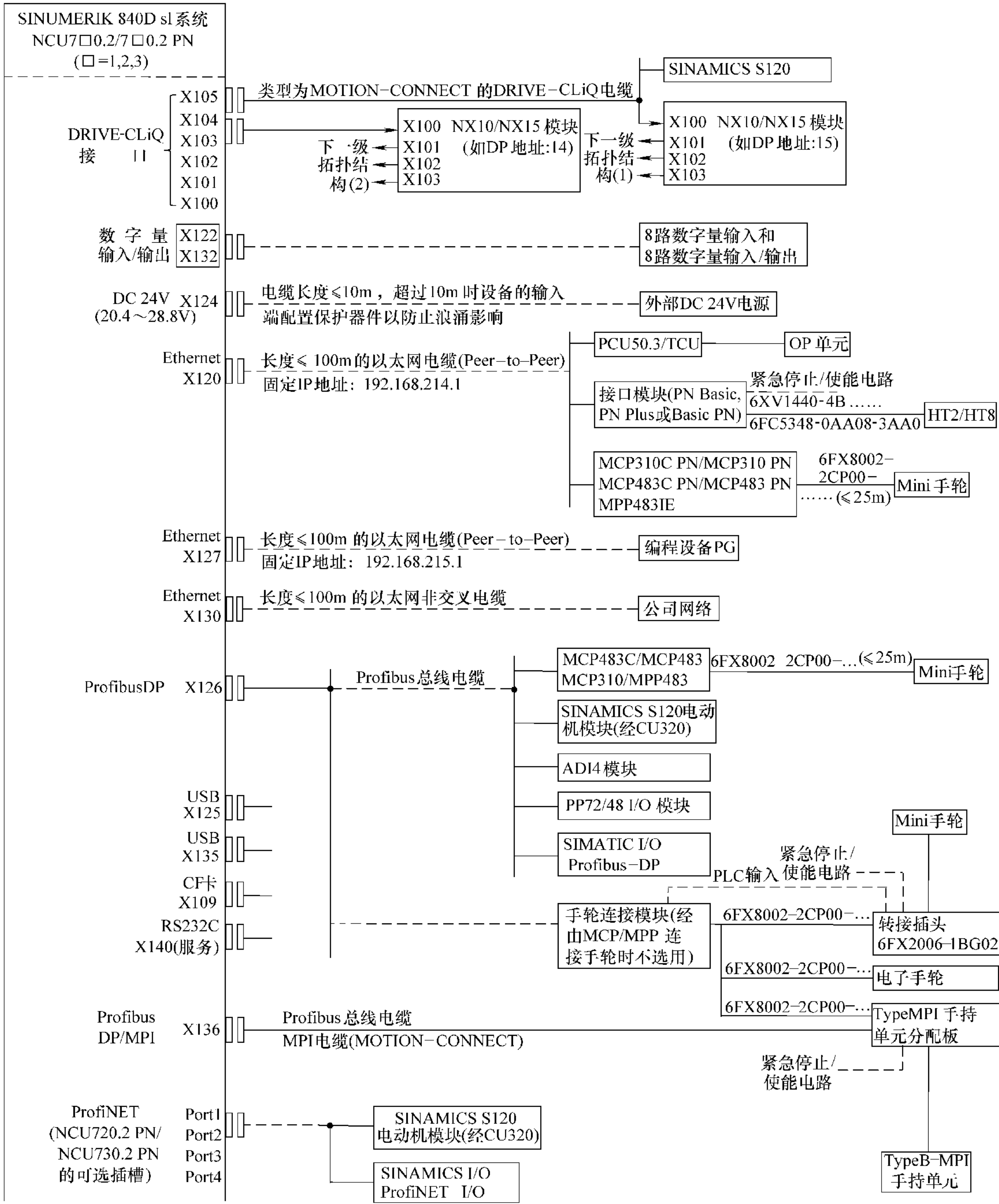


图 1-107　SINUMERIK 840Dsl 系统及组件的连接图

1.8.3　SINUMERIK 840D solution line 系统报警及故障维修

（1）自诊断报警的分类　SINUMERIK 840Dsl 系统的自诊断报警可分为 NC 报警、Profibus 报警、PLC 报警和 HMI 报警、SINAMICS 报警和驱动 I/O 报警六大类，其中每一大类报警又细分为不同的小类，每一小类的报警均被分配了一定范围的报警号（见表 1-34）。

表 1-34 SINUMERIK 840Dsl 系统自诊断报警的分类

序号	报警分类		报警号范围
1	NC 报警	一般报警	000 000 ~ 009 999
		通道报警	010 000 ~ 019 999
		进给轴/主轴报警	020 000 ~ 029 999
		SIEMENS 循环报警	060 000 ~ 064 999
		用户循环报警	065 000 ~ 069 999
		制造商和 OEM 编译循环报警	070 000 ~ 079 999
2	Profibus/ProfiNET 报警		380 000 ~ 380 503
3	PLC 报警	一般报警	400 000 ~ 499 999
		通道报警（机床制造商设计并说明）	500 000 ~ 599 999
		进给轴/主轴报警（机床制造商设计并说明）	600 000 ~ 699 999
		用户范围（机床制造商设计并说明）	700 000 ~ 799 999
		流程 /图表（机床制造商设计并说明）	800 000 ~ 899 999
		PLC 系统故障信息（机床制造商设计并说明）	810 001 ~ 810 009
4	HMI 报警	基本系统	100 000 ~ 100 999
		诊断	101 000 ~ 101 999
		通信	102 000 ~ 102 999
		加工	103 000 ~ 103 999
		参数	104 000 ~ 104 999
		编程	105 000 ~ 105 999
		备用	106 000 ~ 106 999
		MCU	107 000 ~ 107 999
		HiGraph	108 000 ~ 108 999
		分布式系统（M:N）	109 000 ~ 109 999
		循环	110 000 ~ 110 999
		补充操作界面（内嵌 HMI）	113 000 ~ 113 999
		手持单元 HT6	114 000 ~ 114 999
4	HMI 报警	OEM	119 000 ~ 119 999
		高级 HMI 报警	120 000 ~ 129 999
		OEM	130 000 ~ 139 999
		远程诊断（RCS Host/Viewer）	142 000 ~ 142 099
		ePS	149 000 ~ 149 999
5	SINAMICS 报警	控制单元、调节	201 000 ~ 203 999
		备用	204 000 ~ 204 999
		电动机模块	205 000 ~ 205 999
		电源模块	206 000 ~ 206 999
		驱动部分	207 000 ~ 207 999
		选件板	208 000 ~ 208 999
		备用	209 000 ~ 212 999
		授权报警	213 001 ~ 213 002
		DRIVE - CLiQ 电动机模块	230 000 ~ 230 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 1	231 000 ~ 231 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 2	232 000 ~ 232 999
		DRIVE - CLiQ 编码器 3	233 000 ~ 233 999
		备用	234 000 ~ 234 999
		端子模块 TM31	235 000 ~ 235 999
		备用	236 000 ~ 236 999
		控制器扩展单元（NX32）	240 000 ~ 240 999
		备用	241 000 ~ 248 999
		SINAMICS GM/SM/GL	249 000 ~ 249 999
		通信板 Comm. Board	250 000 ~ 250 499
		备用	250 500 ~ 259 999
6	驱动报警	一般驱动报警	300 000 ~ 399 999

（2）系统报警　报警#1000、#1001、#1002、#1003、#1005、#1010、#1011、#1012、#1013、#1014、#1015、#1016、#1017、#1018 和#1019 及#1160 属于 NC 报警中的系统报警，用于反映 SINUMERIK 840Dsl 数控装置内部的故障状态，为机床设计人员和维修人员提供重要

的维修信息，以便进一步了解机床的故障原因和故障部位。SINUMERIK 840Dsl 系统报警及处理方法请参见表 1-32。除此之外，在数控机床的日常维修过程中，维修人员应严格按照“四步到位法”（即故障记录到位→诊断分析到位→故障维修到位→维修记录到位）的要求，合理运用系统自诊断、直观检查法（望闻问切）、数据和状态检查、状态指示灯和报警信息分析法、备板置换（替代）法、交换（同类对调）法、敲击法、升温法、功能程序测试法、隔离法和测量比较法及强迫闭合法（用于液压元件或接触器）等现代诊断分析方法，迅速查明机床故障原因并及时排除，尽快恢复数控机床的正常运转，同时制定有针对性的预防措施，防止类似故障的再次发生。

第2章

SIMODRIVE和SINAMICS驱动系统及故障维修

当今的数控机床主要由输入/输出装置、数控装置（NC和PLC）、伺服装置（包含驱动电动机和位置检测装置在内的主轴驱动与进给驱动）和机床本体（床身和工作台等）及辅助装置（如ATC、润滑、冷却和排屑等）等部分组成（见图2-1），其工作原理大致为利用数字化的逻辑电信号控制机床的机械运动过程——主轴驱动和进给驱动、工件的夹紧和松开、刀具的选择、刀具和工件的相对位置、切削液的开启和关闭、各机械耦合部件的润滑及相应部位的冷却降温等。其中用于主轴驱动和进给驱动的SIMODRIVE伺服装置或新一代的SINAMICS伺服装置（见图2-2）是数控装置与机床本体之间的联系环节，当机床工作时，数控装置的NC部分将插补后的位置和速度指令以电信号形式传送至SIMODRIVE驱动系统或SINAMICS驱动系统进行功率的放

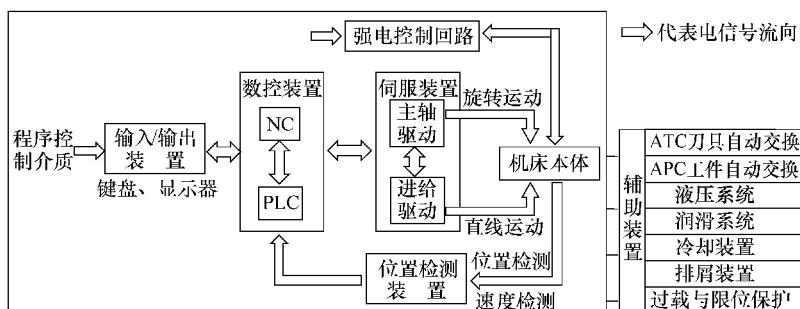


图2-1　数控机床的组成框图

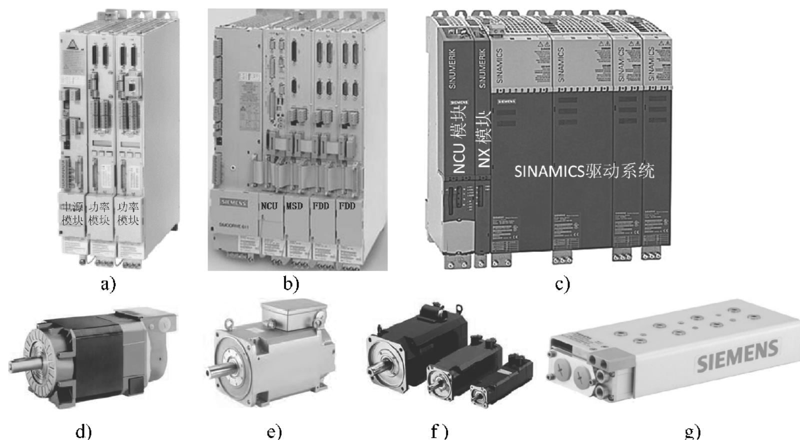


图2-2　SIMODRIVE和SINAMICS伺服装置

a）SIMODRIVE 611U/UE　b）SIMODRIVE 611D　c）SINAMICS驱动系统　d）1PH7主轴异步电动机
e）1PH8主轴异步电动机　f）1FT6同步伺服电动机　g）1FN3直线电动机

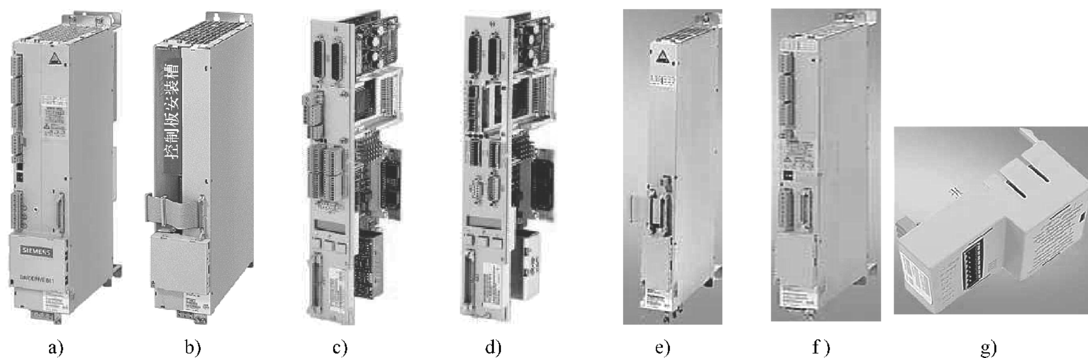
大（将电信号放大为电动机适合的强电信号），并使尾部带脉冲编码器的异步电动机或同步电动机旋转，从而以一定的速度控制机床运动部件移动，并且按程序指令加工出工件廓形。

2.1　SIMODRIVE 611 驱动系统及故障

SIMODRIVE 611 驱动系统是西门子公司在 20 世纪 90 年代初期推出的一种可灵活组态的、模块化结构的交流伺服驱动单元，因其能够满足数控机床对驱动系统的稳定性和技术性能等方面（如最高要求的动态响应、速度整定范围及平滑运行特性）的要求，故被广泛应用于 SINUMERIK 802S/C base line、802D、810D power line（下称 810D）和 840D power line（下称 840D）等系统的数控机床中。SIMODRIVE 611 驱动系统主要有模拟型 611A（基于 6SC610 进行改进的）、通用型 611U/UE 和数字型 611D 三种系列，其中 611A 适用于 802C 系统，并可驱动 1FT5 交流伺服电动机和 1PH2/1PH4/1PH6 主轴电动机；611U/UE 既可接受模拟量控制，也可经 Profibus 接口接受数字量控制，适用于 802C/D base line 等系统，并可驱动 1FT6/1FK6/1FK7 系列同步伺服电动机、1FN1/1FN3 系列直线电动机及 1PH2/1PH4/1PH6/1PH7 系列主轴电动机；611D 适用于 810D power line 和 840D power line 等系统的数字量控制，所驱动的电动机与 611U/UE 相同。鉴于模拟型 611A 驱动系统已经停产，且采用该驱动系统的数控机床越来越少，故本章重点介绍 611U/UE 驱动系统和 611D 驱动系统的连接及故障维修。

2.1.1　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统

SIMODRIVE 611U/UE 是一种功能可灵活配置的伺服驱动系统（其中 611UE 是在 611U 的基础上增添了 Profibus 总线接口且仅适用于 802D 系统），被广泛应用于纺织机械、包装机械、加工机床、传输线和木工机械及塑料机械等领域中。611U/UE 主要由电源模块、功率模块和单轴或双轴的控制板及其他附件（如脉冲电阻模块、外部脉冲电阻器和过电压限制模块等）等组件组成（见图 2-3）。



a)　b)　c)　d)　e)　f)　g)

图 2-3　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统的组成

a）电源模块　b）功率模块　c）611U 控制板　d）611UE 控制板　e）脉冲电阻模块　f）监控模块　g）过电压限制模块

611U/UE 的电源模块是将机床外部供电系统的三相 AC400V/415V/480V 变换为直流母线上的 DC600V 后供给各个功率模块，并经由设备总线为功率模块和控制板提供 ±24V、±15V 和 +5V等各种电源电压。根据直流母线电压控制方式，电源模块可分为非调节型电源模块（亦称 UI 模块，内含整流电抗器和脉冲电阻器）和调节型电源模块（亦称再生反馈 I/RF 模块，可将直流连接线圈产生的多余能量重新馈入，如将制动产生的能量重新介入电网，以优化电控柜的冷却效果，降低能量消耗，确保各驱动轴在恒定直流电压下工作）。根据驱动轴数的多少，611U/UE 的功率模块可分为单轴功率模块和双轴功率模块，且按电流安培数对功率模块进行分级。使用时

在断电状态下将611U/UE控制板按正确顺序插入对应功率模块的安装槽内，然后紧固控制板上的2个M3螺钉（0.8N·m）。更换控制板时须将驱动系统断电4min以上，使其内部大容量电解电容的高压充分释放。611U/UE的脉冲电阻模块可实现直流母线的快速放电，从而将直流母线连接线路的能量转化为热量损失。但最大功率超过200W时，应使用隔热板阻止模块间热量的传递。611U/UE的外部脉冲电阻器可将热量耗损由电控柜内部转移至外部，通常用于28kW的非调节型电源模块上。611U/UE的过电压限制模块主要用于10kW以上的功率模块，以避免感应负载或变压器接通时产生过电压。

1. 611U与611UE的区别

虽然SIMODRIVE 611U与SIMODRIVE 611UE均属于西门子公司推出的通用型伺服驱动系统，但二者存在一定的差别，见表2-1。

表2-1 611U与611UE的区别

<table>
<tr><th>序号</th><th>比较类型</th><th>项目内容</th><th>SIMODRIVE 611U</th><th>SIMODRIVE 611UE</th><th>备 注</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">操作方式</td><td>速度/转矩设定</td><td>有</td><td>有</td><td rowspan="3">P0700=0，驱动无效，611UE时双轴模块用作单轴模块
P0700=1，端子56/14给予指令的速度控制方式，可对速度和转矩进行控制；但该方式下不能同时具备位控功能
P0700=3，位控方式，可对位控环、测量系统、传动比、轴速度和加速度、轴倍率、软限位和硬限位进行设定及反向间隙进行补偿，该方式下同时具备速度控制功能</td></tr>
<tr><td>定位（位控方式）</td><td>有</td><td>无</td></tr>
<tr><td>外部位置基准值</td><td>有（SW3.3版本后）</td><td>无</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">存储器模块</td><td>用于n-set方式</td><td>是</td><td>否</td><td rowspan="2">存储器模块（可更换）被集成在控制板上，具有存储固件和用户数据的FEPROM；其背面注释为：URL. _SOFTWARE N_SOLL-611U[INITIALIZE-SOFTWARE N_SET_SET_611U]</td></tr>
<tr><td>用于pos方式</td><td>是</td><td>否</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">软件版本</td><td>SW1.1/2.1/2.4/3.1/3.2/3.3</td><td>SW3.1/3.2/3.3</td><td>软件版本3.1为首个用于611U和611UE控制板的软件</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">模块类型</td><td colspan="2">通过P0870确定控制板类型</td><td>P0870=0004：双轴带正弦波编码器（sin/cos 1 Vpp）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">信号输入/输出</td><td>模拟量输入</td><td>端子56.x/14.x
端子24.x/20.x</td><td>无</td><td>x=A或B，下同</td></tr>
<tr><td>数字量输入</td><td>T.I0.x，T.I1.x，T.I2.x，T.I3.x</td><td>仅T.I0.x
和T.I1.x</td><td>P0660、P0661、P0662和P0663分别设定输入端子I0.x、I1.x、I2.x和I3.x；对于611UE，仅P0660和P0661有效</td></tr>
<tr><td>数字量输出</td><td>T.O0.x，T.O1.x，T.O2.x，T.O3.x</td><td>仅T.O0.x
和T.O1.x</td><td>P0680、P0681、P0682和P0683分别设定输入端子I0.x、I1.x、I2.x和I3.x；对于611UE，仅P0680和P0681有效</td></tr>
</table>

（续）

序号	比较类型	项目内容	SIMODRIVE 611U	SIMODRIVE 611UE	备　注
6		选件模块	是	否	对于611U，P0664 至 P0671 分别设定输入端子 I4 至 I11，P0684 至 P0691 分别设定输出端子 O4 至 O11；而611UE 无效
7		选件 Profibus 模块	Profibus－DP1/DP2/DP3	仅 Profibus－DP3	P0872＝4：确定选件 Profibus－DP3 模块
8		串行接口	RS232 和 RS485	仅 RS232	P0801＝0：标准 RS232 接口
9	编码器	角度增量编码器接口	有	无	P0890＝0：驱动器的编码器接口关闭 P0890＝1：电动机测量系统（X411 和 X412）的角度编码器接口接通，输出增量位置的实际值 P8090＝2：直接测量系统（X412）的角度编码器接口接通，输入增量位置的基准值 P0890＝3：TTL 型角度编码器接口接通，输入驱动器 A 的增量位置基准值；611UE 为 X472 接口 P0890＝4：编码器接口使能，作为 TTL 编码器的输入 611UE 的 X472 接口不适宜连接 1 个直接测量系统，这是因为611UE 驱动器内部不处理编码器信号且该接口适合带 Profibus－DP 的运动控制器（如 SINUMERIK 802D）等
		TTL 编码器接口	无	有（X472，连接 1 个附加测量系统）	
		编码器接口（过程数据）	仅编码器 1 和 2（后者自 SW3.3）	编码器 1、2（自 SW3.3）和 3	
10		移动至末端停止	是（自 SW3.3）	无	在位控方式下，使用 FIXED END STOP 指令进行编程
11		驱动轴的耦合	是（自 SW3.3）	无	在位控方式或“外部位置基准值”时使用该功能

2. 611U/UE 组件的接口布置

（1）电源模块（6SN1146）的接口（见图 2-4）

1）S1：DIP 开关，由 S1.1 和 S1.4 设定主控制回路（U1、V1、W1）输入电源的类型，其中 S1.1 为 OFF、S1.4 为 OFF 时主控制回路输入电源为三相 AC400V，S1.1 为 ON、S1.4 为 OFF 时主控制回路输入电源为三相 AC415V，S1.1 为 OFF、S1.4 为 ON 时主控制回路输入电源为三相 AC480V；通常主控制回路的输入电源选择三相 AC400V。

2）U1、V1 和 W1：主控制回路的三相电源输入端口。

3）X121：T5.2/T5.1 和 T5.3/T5.1 分别为电源模块过电流或电动机温度报警继电器的常开触点与常闭触点，触点的驱动能力均为 DC50V/500mA。T74/T73.2 为电源模块就绪（PLC 监控）

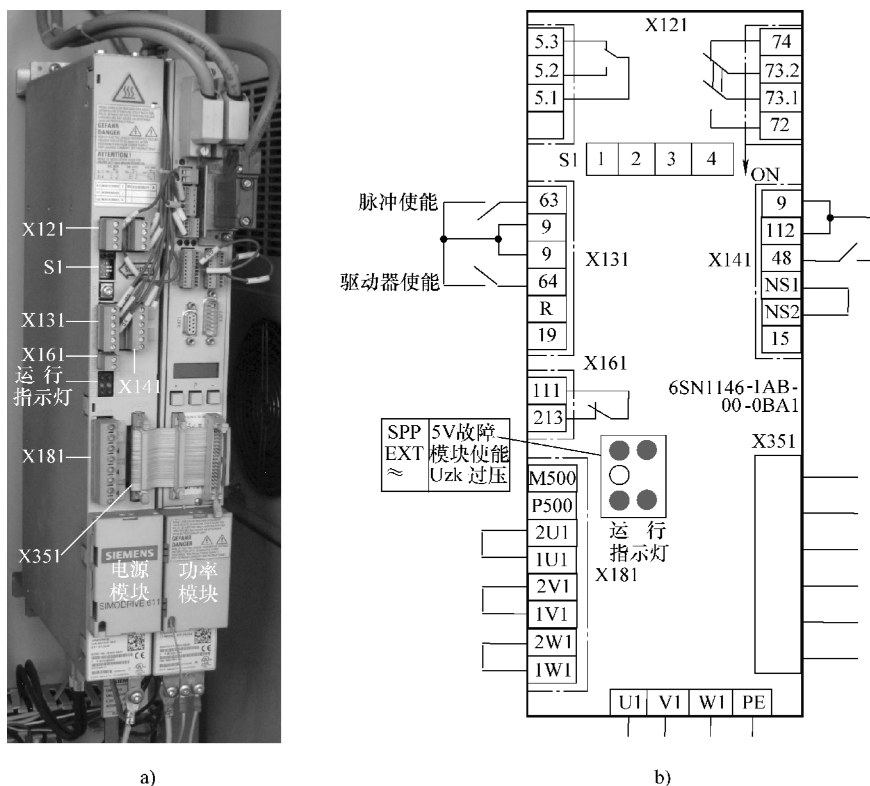


图 2-4　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统中电源模块的接口布置

a）611U/UE 的电源模块实物　b）电源模块前面板上的接口

注：粗实线框内为电源模块的内部接线。

的常闭触点，该触点的驱动能力为 AC250V/2A 或 DC 50V/2A。T73.1/T72 为电源模块就绪（PLC 监控）的常开触点，该触点的驱动能力与常闭触点 T74/T73.2 的相同。通常使用常开触点 T73.1/T72，当 611U/UE 驱动系统进入正常工作状态后，T73.1（DC24V）和 T72 闭合，并经由 T72 向 PLC 输出驱动系统就绪信号，否则 PLC 监控出错，并在 PCU 上显示驱动系统未就绪报警。

4）X131：T63/T9 为脉冲使能输入信号（DC13～30V），该信号同时对所有连接的驱动模块有效，该信号取消后所有轴的速度给定电压为零，且轴以最大的加速度停车。T64/T9 为驱动器控制使能输入信号（DC13～30V），系统上电后 T63 使能生效，T9 的 DC+24V 供给 T64，并使轴驱动模块的控制使能生效。T64/T9 的控制使能输入和取消均同时作用于所有驱动模块，且控制使能取消后所有轴的速度设定值置零，待设定的延迟时间（如 200ms）到达后驱动器及其脉冲使能失效，从而使电源模块转入制动状态。TR 为模块的报警复位信号，T19 为 24V 的参考地。

5）X141：T9 为电源模块使能生效后向外输出 DC+24V 的端子。T112 为电源模块调试运行模式和正常运行模式转换的控制端子（DC13～30V），当 T112 与 T9 短接时，电源模块处于正常运行模式；当 T112 与 T9 断开时，电源模块处于调试运行模式，此时直流母线电压仅为 DC30V。T48 为主回路继电器的控制端子，用于电源模块的启动和停止——当 T48 使能生效时直流母线的预充电电路经压敏电阻后接通，直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右），然后接通脉冲使能 T63，并使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V，见图 2-5）。端子 NS1 和 NS2 为主回路继电器（T48）的闭合使能，只有短接 NS1 和 NS2 才可接通主回路继电器，通常信号 NS1/NS2 用来联锁控制主回路继电器的闭合。

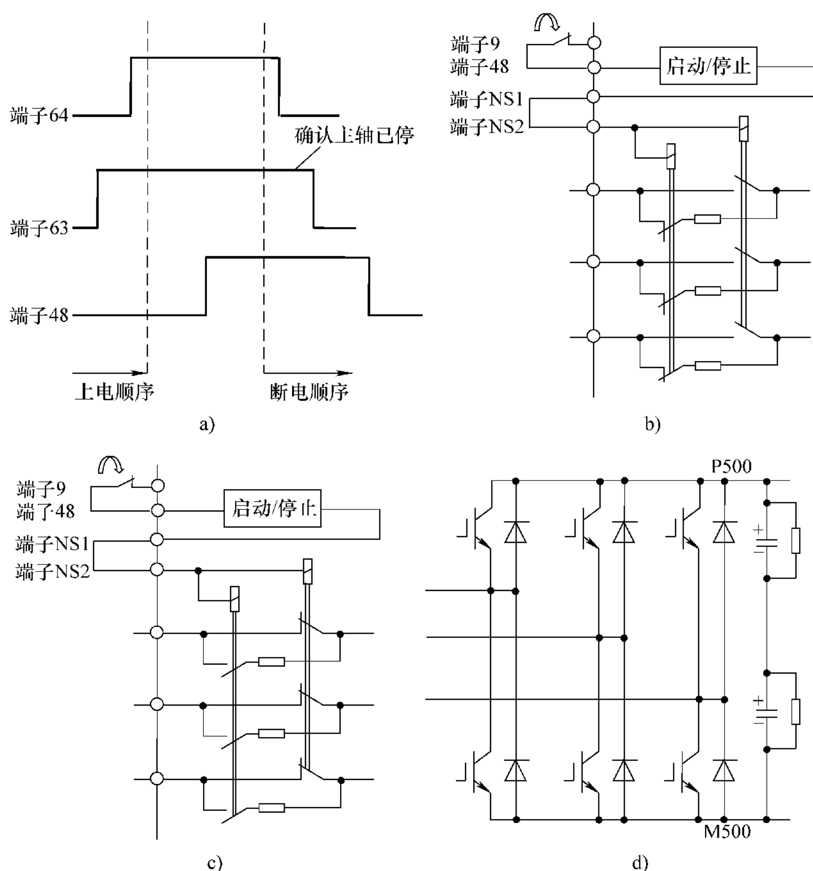


图 2-5　电源模块的上电与断电过程

a）由 PLC 控制的电源模块上电和断电顺序　b）上电时直流母线预充电电路接通

c）直流母线电压达到整流电压值　d）T63 接通后直流母线电压达到 DC600V

注：每两个步骤间约为 0.5s。

① 上电顺序：接通机床电源→释放面板上的急停按钮→T48/T9 接通后直流母线的预充电电路经压敏电阻后接通直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右）→T63/T9 接通后脉冲使能同时作用于所连接的驱动模块使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V）→T64/T9 接通使所连接的轴驱动模块使能生效。

② 断电顺序：主轴停止后按下面板上的急停按钮→T64/T9 断开使驱动器进入制动状态（即快速制动）→T63/T9 断开使驱动器进入自由状态→T48/T9 断开直流母线开始放电→切断机床电源。

③ 注意：维修时切断外部供电电源后须等待 4min 以上，待直流母线放电完毕后进行测量等操作，以免发生触电危险。

6）X161：T213/T111 为电源模块内部主接触器触点是否闭合的外部检测端子（常闭触点），当电源模块内部主接触器闭合时 T213/T111 断开，万用表测量两端子间电阻值应为∞；当主接触器断开时 T213/T111 接通，万用表测量两端子间电阻值应为 0。

7）X181：M500/P500 为直流母线电源的辅助供给端子，当 611 驱动系统所需的电源与电源模块的输入主电源（U1、V1、W1）为同一路时，应将接口 X181 中的端子 1U1、1V1 和 1W1 分别与端子 2U1、2V1 和 2W1 短接。

8）X351：设备总线接口，为后面所连接的功率模块提供电子电源、使能信号和监控信号，

与后续功率模块的 X351 接口连接。

9）6 个运行指示灯：左侧自上而下的红色 Spp、绿色 Ext 和红色≈分别为 ±15V 电子电源故障、外部使能信号 T63 或 T64 丢失、外部供电故障的状态指示，右侧自上而下红色 fault、黄色 enable 和红色 fault 分别为 5V 电子电源故障、电源模块正常运行且直流母线预充电结束、直流母线过电压的状态指示。当数控机床发生故障时，维修人员可借助这 6 个指示灯来分析电源模块发生故障的原因，以快速恢复机床运转，这就是维修方法中所谓的状态指示灯分析法。

（2）控制板的正面接口（见图 2-6）

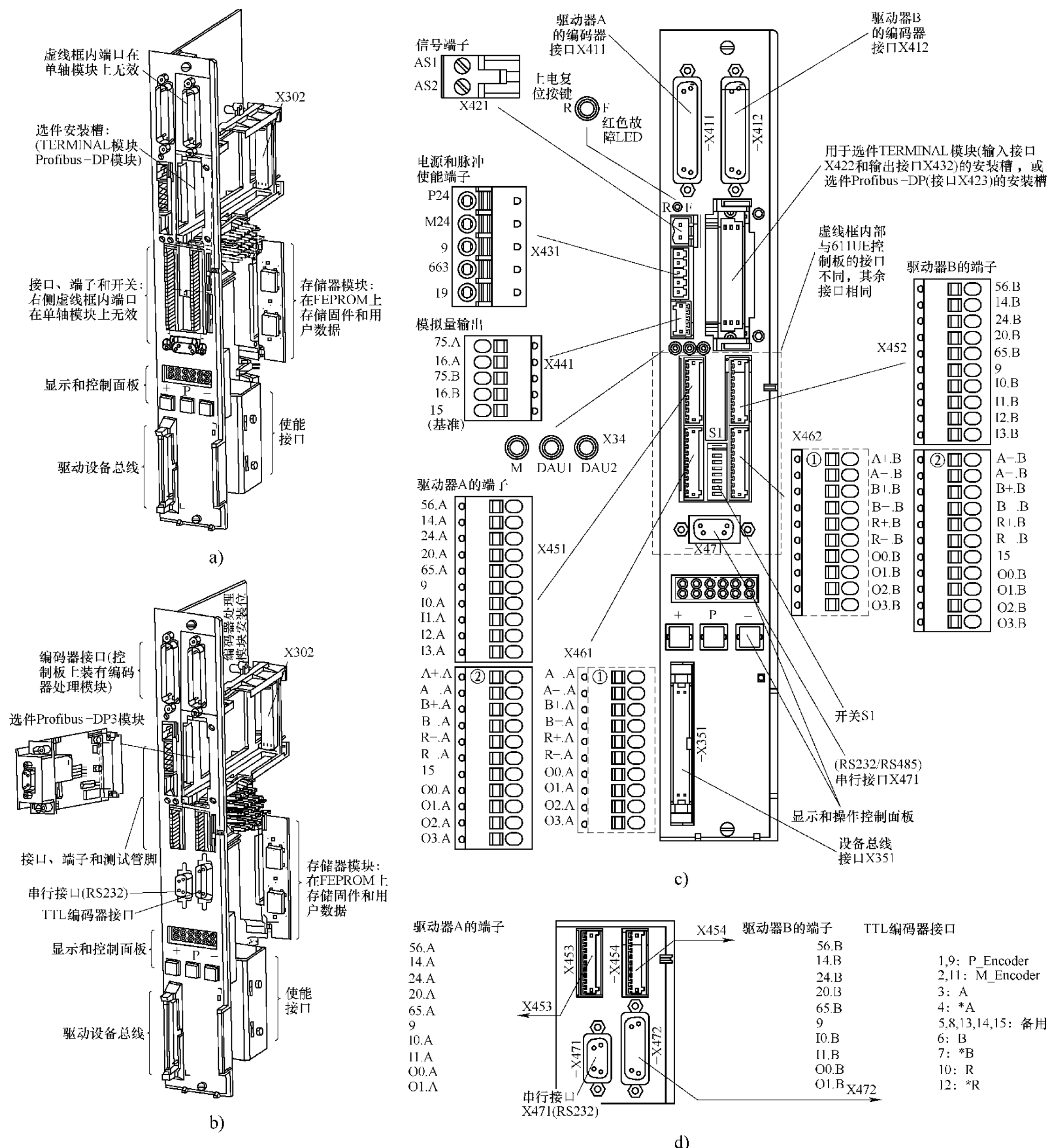


图 2-6 SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统中控制板的接口布置

a）带 Resolver 的 611U 控制板（双轴） b）带选件 Profibus－DP3 模块的 611UE 控制板

c）611U 控制板的接口布置 d）611UE 控制板的接口布置（与 611U 控制板不同之处）

① 适用于 6SN1118－□N□00－0AA□。② 适用于 6SN1118－□N□01－0AA□。

1）X411 和 X412：分别为驱动器 A 和 B 的电动机编码器（如极限频率为 432Hz 的 Resolver）接口，又称间接测量系统接口（半闭环控制），用于连接电动机编码器信号及电动机热敏电阻，其中 X412 还可连接直接测量系统。这两个接口均为 25 芯 D－Sub 插头，插头引脚中的 Pin2 为 M_Encoder 信号，Pin3 为 Sin_Plus 信号，Pin4 为 Sin_MPlus 信号，Pin5、Pin8 和 Pin24 为内部屏蔽信号，Pin6 为 Cos_Plus 信号，Pin7 为 Cos_MPlus 信号，Pin9 为 Excitation_Pos 信号，Pin11 为 Excitation_Neg 信号，Pin13 和 Pin25 分别为电动机热敏电阻（具有极性要求而不可接反）的检测信号 Temp＋和 Temp－，其余引脚空置。注意：该热敏电阻在常温下的阻值为 580Ω，155℃时阻值超过 1.2kΩ，并由 611U/UE 的控制板关断电动机的电源，同时在 PCU 单元上显示伺服电动机过热报警。

2）上电复位键 R 和红色故障 LED－F：R 为功率模块电源打开的复位键，F 为功率模块启动时和出现故障时的红色指示灯。

3）X421：带 2 芯连接条的信号端子，其中 AS1 为触点启动/禁止信号，AS2 为 X431 接口中 T663 的检查信号。

4）X431：为 5 芯插头的电源和脉冲使能端子，其中 P24 为数字输出用外部＋24V 电源（10～30V）端子，M24 为外部＋24V 电源的基准点，9 为＋24V 使能电压端子，19 为所有数字输入端提供 0V 使能电压，663 为＋24V（21～30V）脉冲使能端子。

5）X441：611U/UE 控制板上带 5 芯插头的模拟量输出接口，以导线横截面不超过 0.5mm^2 的细芯绞合线或实心线连接双轴功率模块中的驱动器 A，模拟输出信号的电压为－10V～＋10V，且电流不超过 3mA；引脚 75.A 和 75.B 用于模拟量输出 1，引脚 16.A 和 16.B 用于模拟量输出 2，引脚 15 为基准（电子地）。

6）X34：测试管脚，DAU1 为测试管脚 1，DAU2 为测试管脚 2，M 为基准。

7）X451 和 X452：611U 控制板上带 10 芯插头的模拟量或数字量输入接口，以导线横截面不超过 0.5mm^2 的细芯绞合线或实心线分别连接双轴功率模块中的驱动器 A 和 B。其中引脚 56.□和 24.□分别用于模拟量输入 1 和 2，引脚 14.□和 20.□分别为基准 1 和 2，引脚 65.□为驱动器专用的控制使能，引脚 9 提供＋24V 使能电压，引脚 I0.□、I1.□、I2.□和 I3.□分别用于快速数字输入 0 和数字量输入 1、2、3（□代表 A 或 B）。

8）开关 S1：611U 控制板上用于接口选择的 8 位端子电阻，其中 T1～T3 和 T4～T6 分别为驱动器 A 与驱动器 B 的角度编码器接口，T7、T8 为 RS485 接口。

9）X453 和 X454：611UE 控制板上带 10 芯插头的数字量输入输出接口，以导线横截面不超过 0.5mm^2 的细芯绞合线或实心线分别连接双轴功率模块中的驱动器 A 和 B。其中引脚 56.□、14.□、24.□和 20.□空置，引脚 65.□为驱动器专用的控制使能（24V/6mA），引脚 9 提供＋24V/max500mA的使能电压，引脚 I0.□和 I1.□分别用于快速数字输入 0（24V/6mA）和数字量输入 1，引脚 O0.□和 O1.□分别用于数字输出 0 和 1（□代表 A 或 B）。

10）X472：611UE 控制板上带 15 芯插头的 TTL 编码器接口，连接电缆为长度不超过 15m 的 6FX2001－2XB02。

11）X461 和 X462：611U 控制板上带 10 芯插头的信号及数字量输出接口，以导线横截面不超过 0.5mm^2 的细芯绞合线或实心线分别连接双轴功率模块中的驱动器 A 和 B。其中引脚 A＋.□、A－.□和 B＋.□、B－.□及 R＋.□、R－.□分别用于信号 A＋、A－和 B＋、B－及 R＋、R－，引脚 O0.□、O1.□、O2.□和 O3.□分别用于数字输出 0、1、2 和 3（□代表 A 或 B）。

12）X471：611U/UE 控制板上带 9 芯 D－Sub 插头的 RS232 串行接口，通过该接口经由通信电缆（又称 611U/UE 驱动系统调试电缆，和与数控系统连接的 RS232 调试电缆不同，见图 2-7）实现 611U/UE 控制板与外设 PG/PC 的通信，并借助 SimoCom U 调试工具来设定和优化参数、测

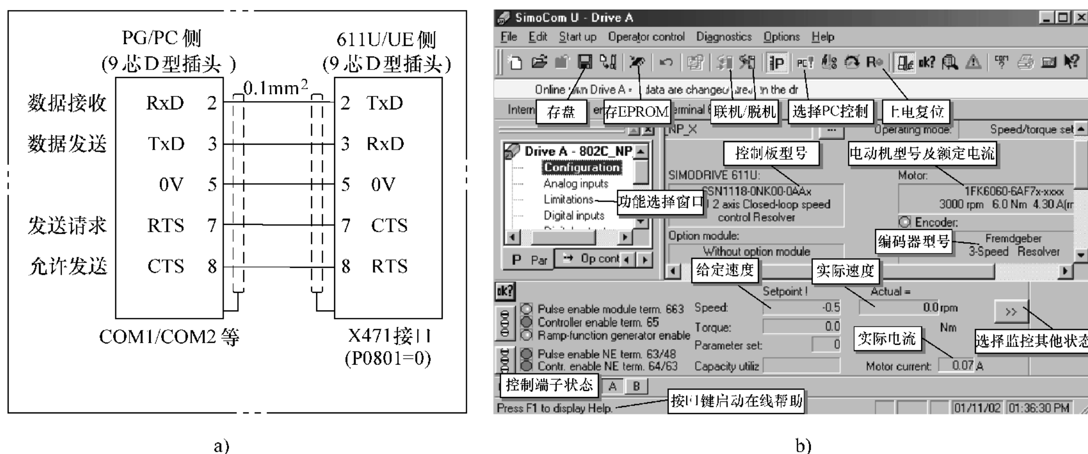


图 2-7 用于 611U/UE 调试软件 SimoCom U 的 RS232 通信电缆

a）RS232 通信电缆 b）SimoCom U 调试软件主窗口

试控制板和下载固件。注意：使用 RS232 串行接口时不仅要在控制板上设定参数 P0801 = 0，还须保证机床电控柜的保护地与 PG/PC 的保护地共地，以免损坏数控系统（如 802C base line 或 802D）、611U/UE 驱动系统或外设 PG/PC 的硬件。

13）显示和操作面板：611U/UE 控制板上的 6 字符 7 段带小数点的显示屏幕，可显示控制板相关的参数值与报警信息。当故障号 < 800（即 1 ~ 799）时屏幕显示为 E − × × × ×，如 E − A608 为驱动器 A 故障 608，E − b714 为驱动器 B 故障 714；当报警号≥800（即 800 ~ 927）时屏幕显示为 E× × × ×，如 EA805 为驱动器 A 报警 805，Eb810 为驱动器 B 报警 810。按键［ + ］、［P］和［ − ］分别用来选择和修改参数值。

14）X351：设备总线接口，接收并向下传递来自于电源模块 X351 接口的电子电源、使能信号和监控信号。

3. 611U 在 MK7132 × 20 成形数控磨床上的应用

工作台面长 2000mm、宽 320mm 的 MK7132 × 20 成形数控磨床除选用 SINUMERIK 802D 系统（将 NCK、PLC、HMI 和通信等功能集成于一体）、配置垂直安装式 CNC 键盘和电子手轮及机床制造商自制的 MCP 外，还通过 Profibus 现场总线连接模块化的 SIMODRIVE 611U 驱动系统（由 6SN1145 电源模块、6SN1123 单轴/双轴功率模块组成，见图 2-8）和 PP72/48 输入输出单元。该机床的动力系统主要包括砂轮电动机（Y160M − 4）、纵向移动 *X* 轴伺服电动机（1FK7）、横向移动 *Z* 轴伺服电动机（1FK7）和垂直升降 *Y* 轴伺服电动机（1FT6）等。其中砂轮电动机的主回路由低压断路器 QF1（NSC100D3100）和 QM3（GV2 − M21 − C）及交流接触器 KM3（LC1 − D2510F5C）的主触点控制，辅助控制回路由 802D 系统内置 PLC、PP72/48 输入输出单元、继电器 KA6（PLC − RSC − DC24/21）和交流接触器 KM3 的辅助线圈组成。*X*、*Y*、*Z* 轴伺服电动机的旋转由 611U 驱动系统进行控制，其控制信号来自于 802D 系统 PCU 插补后的位置和速度指令。各电动机的运行及机床防护、检测与报警由 802D 系统内置 PLC 依据顺序逻辑进行控制。

MK7132 × 20 成形数控磨床的 PLC 程序由 1 个主程序 MAIN（OB1）和 7 个子程序 INI（SBR0）、EMG（SBR1）、MCP（SBR2）、ZAXIS（SBR3）、YAXIS（SBR4）、XAXIS（SBR5）、USER（SBR6）组成。其中主程序 MAIN（OB1）是程序的主体，负责在每次 CPU 扫描循环时调用并执行一次子程序；子程序具体负责机床各项功能的逻辑控制，根据需要可被编辑为多个较小的程序块。下面以 MK7132 × 20 成形数控磨床的上电顺序为例，介绍 611U 驱动系统的 PLC 控制过程（见图 2-9）。

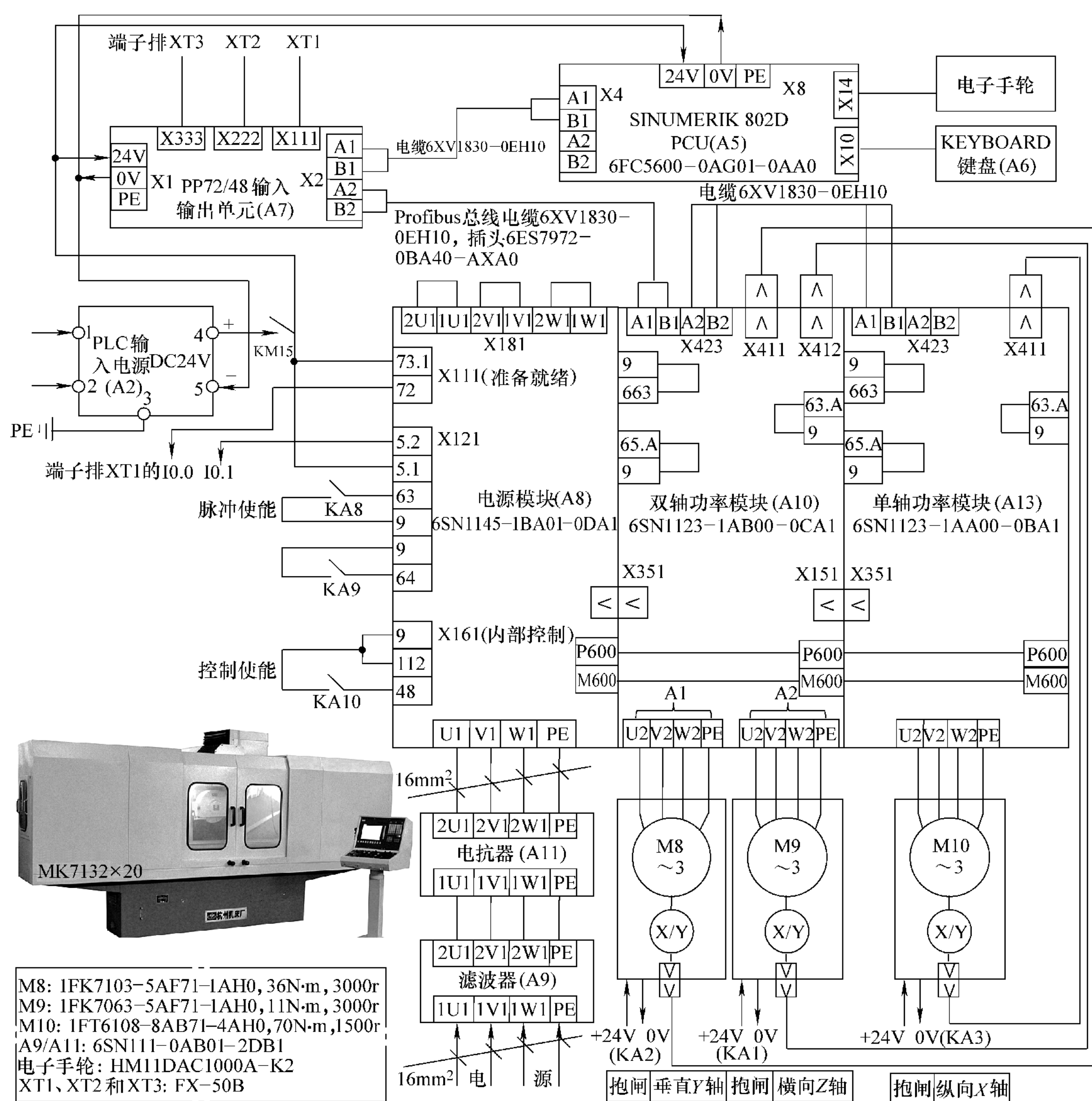


图 2-8　611U 驱动系统在 MK7132 × 20 成形数控磨床上的应用连接

（1）611U 的上电过程　接通 MK7132 × 20 成形数控磨床的电源并释放面板上的急停按钮（PLC 输入信号 I5. 7）→PLC 内部辅助线圈 M30. 3 和 M30. 4 得电→M138. 2 得电→M70. 7 得电→急停释放信号 V26000000. 2 被设置为 1，且急停接通信号 V26000000. 1 被重设为 0，同时由 PLC 将这两个信号发送至 NCK→伴随着急停释放信号和急停接通信号的处理，M130. 0 被设置为 1→PLC 内部计时器 T29 打开并延时 2s，同时与 611U 控制使能 T48 相关的 Q0. 6 得电输出→外部继电器 KA10 的常开触点闭合→611U 的控制使能 T48/T9 接通→611U 电源模块的直流母线充电电路经压敏电阻后接通直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右）→当 PLC 内部计时器 T29 打开时 M130. 1 被设置为 1→计时器 T28 打开并延时 2s，同时与 611U 脉冲使能 T63 相关的 Q0. 4 得电输出→外部继电器 KA8 的常开触点闭合→611U 的脉冲使能 T63/T9 接通后同时作用于所连接的驱动模块，并使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V）→当 PLC 内部计时器 T28 打开时 M130. 2 和 M130. 6 设置为 1→与 611U 驱动器使能 T64 相关的 Q0. 5 得电输出→611U 的驱动器使能→T64/T9 接通后使所连接的轴驱动模块使能→伴随着 M130. 2 = 1 机床伺服轴 X、Y、Z 轴的

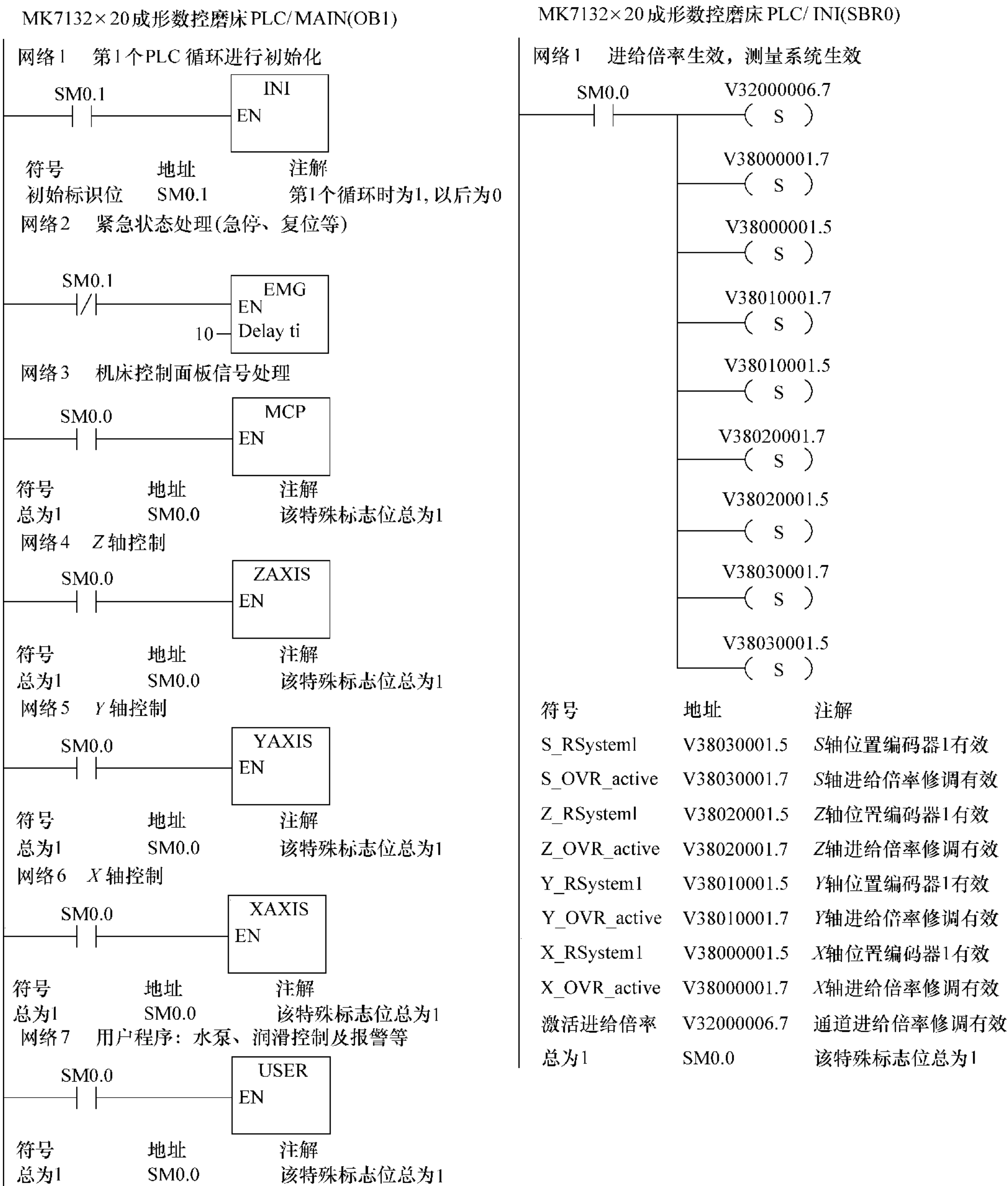


图 2-9 MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制

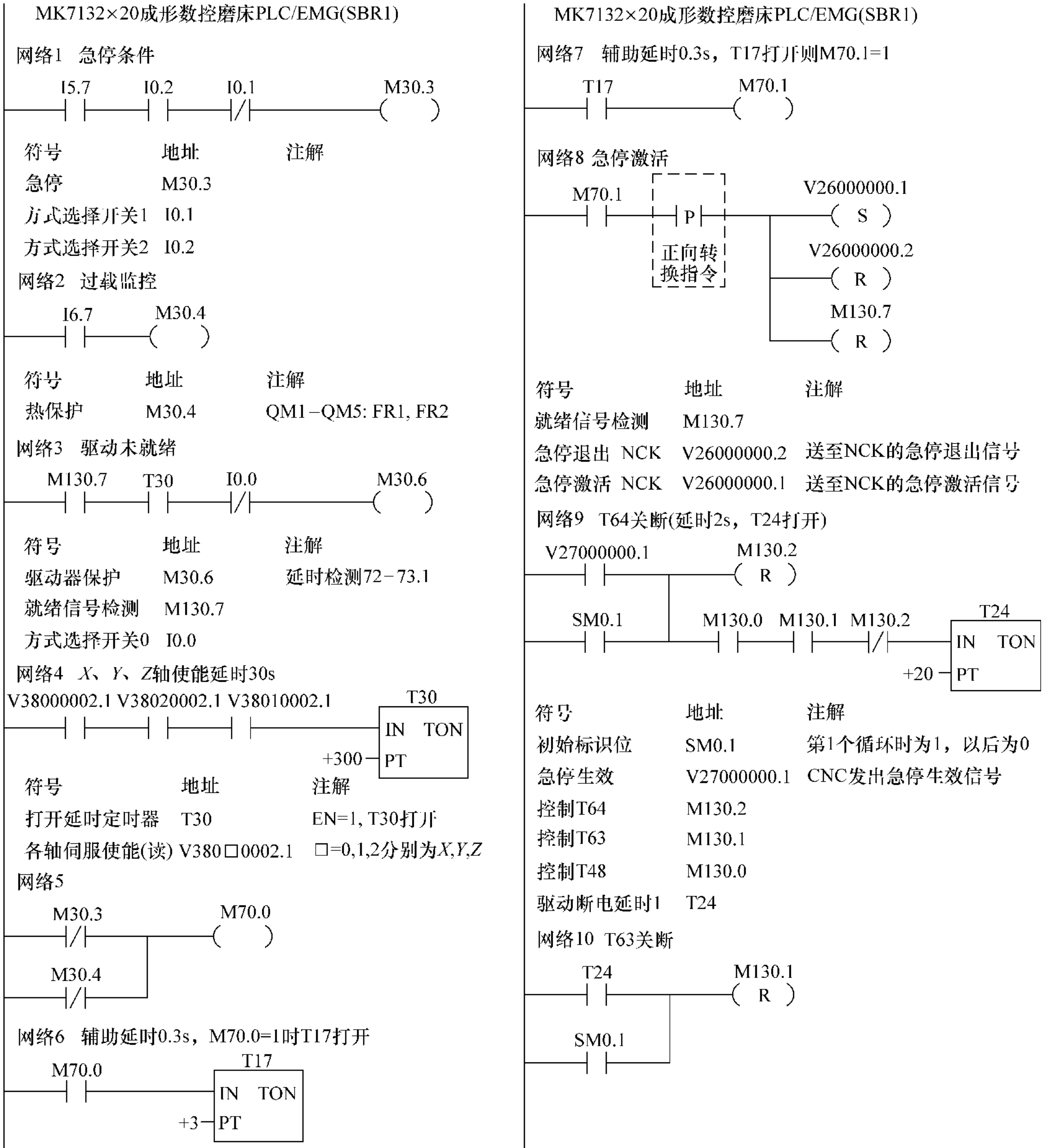
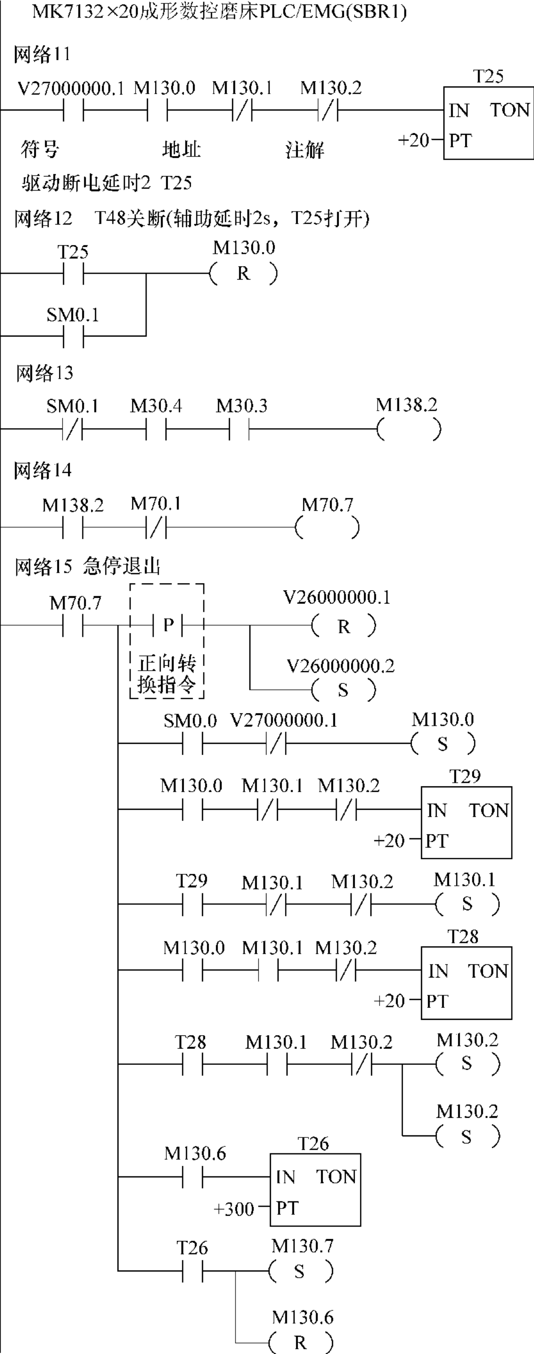


图 2-9　MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制（续）



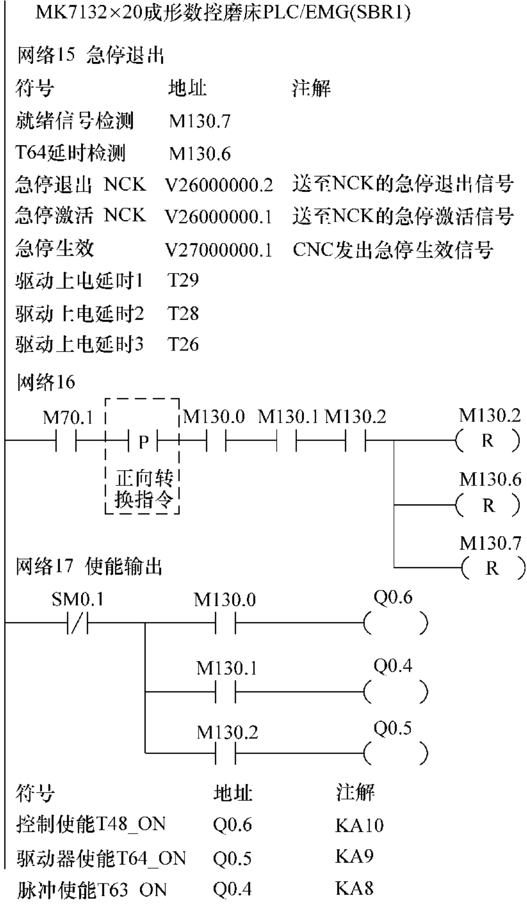


图 2-9 MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制（续）

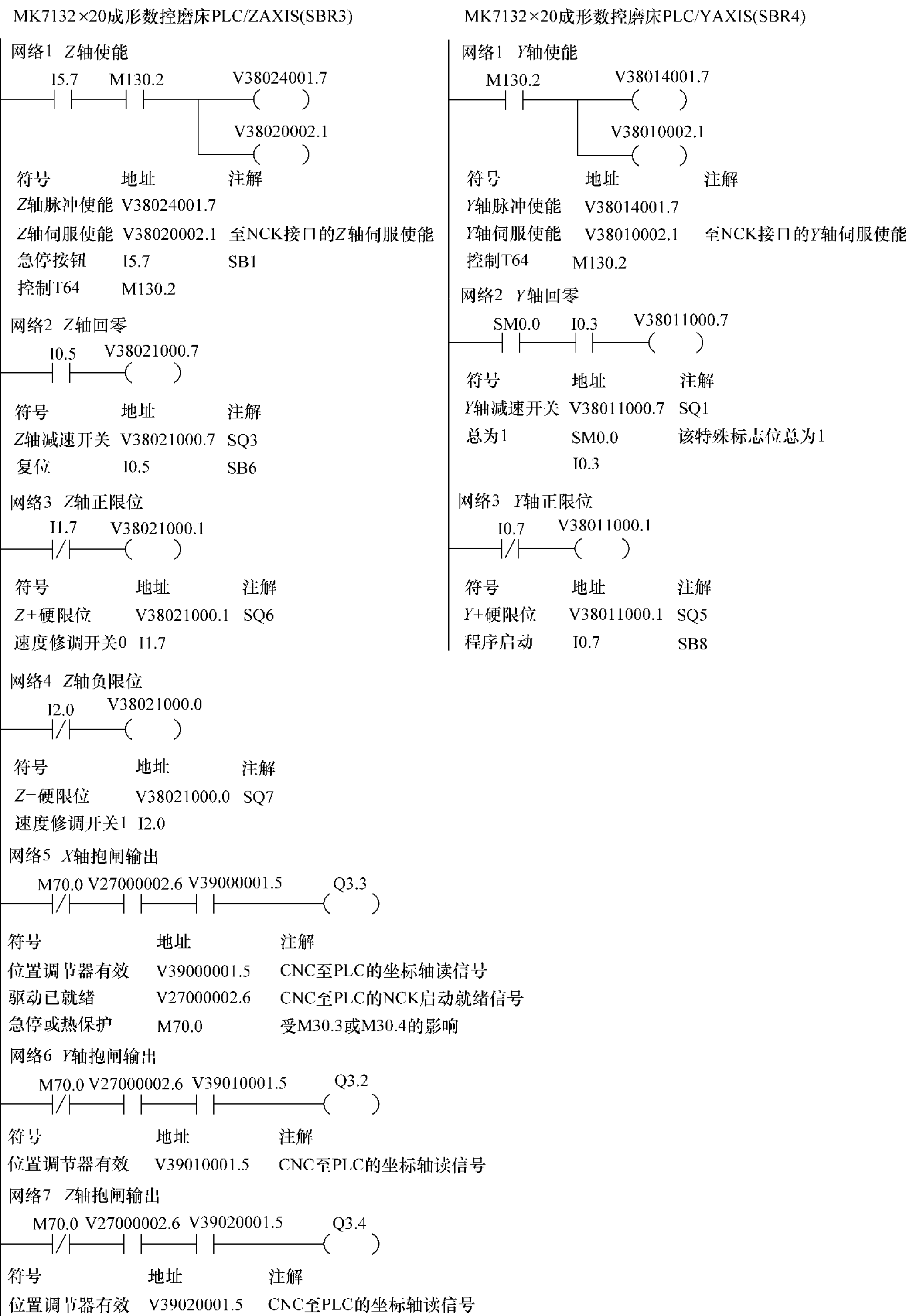
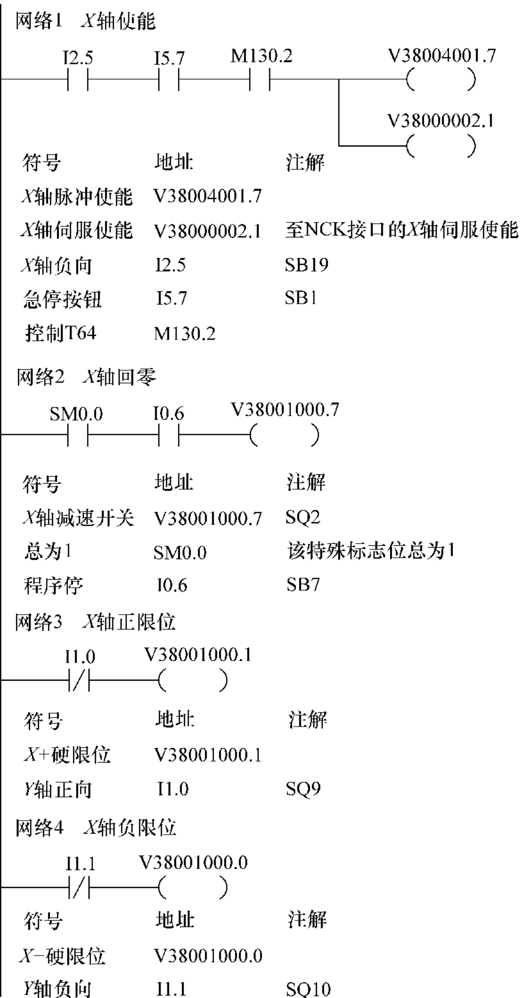


图 2-9　MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制（续）



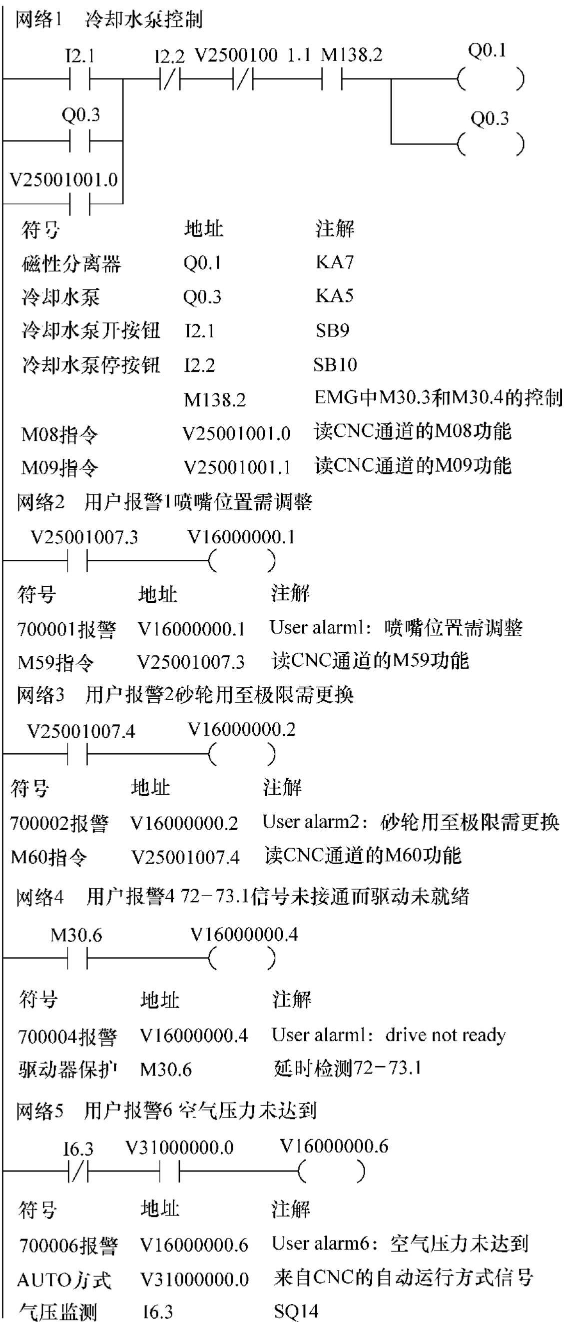


图 2-9 MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制（续）

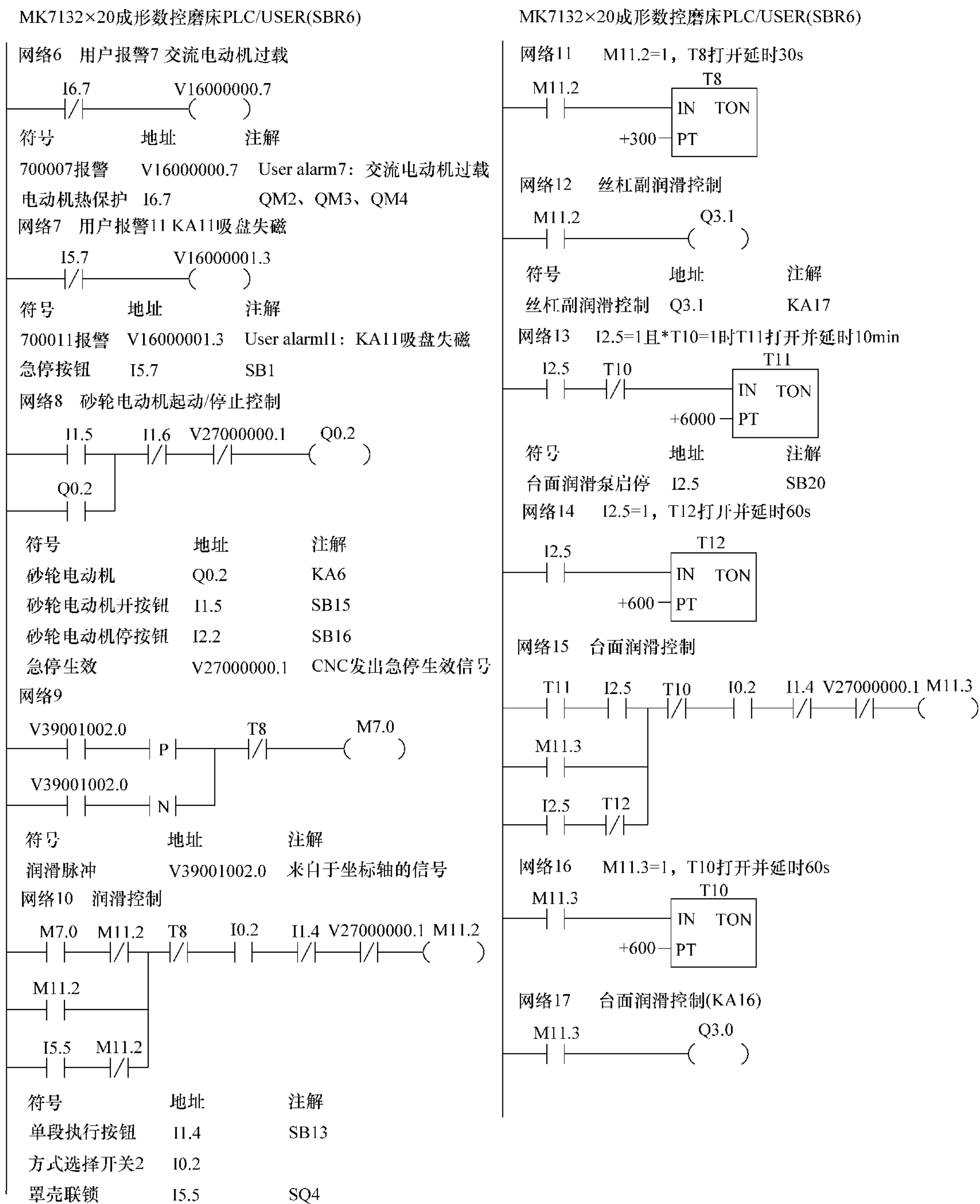


图 2-9　MK7132×20 成形数控磨床中 611U 驱动系统的 PLC 控制（续）

脉冲使能 V38004001.7、V38014001.7、V38024001.7 和伺服使能 V38000002.1、V38010002.1、V38020002.1 均被接通，并由 PLC 将这 6 个信号发送至 NCK→随后 NCK 向 PLC 发送伺服轴 *X*、*Y*、*Z* 轴的驱动已就绪信号 V27000002.6、V27010002.6 和 V27020002.6→当 PLC 接收到伺服轴 *X*、*Y*、*Z* 轴的 NCK 启动就绪信号 V39000001.5、V39010001.5 和 V39020001.5 时，对应的 Q3.3、Q3.2 和 Q3.4 得电输出→相应的电动机抱闸控制继电器线圈 KA3、KA2 和 KA1 得电→机床伺服轴 *X*、*Y*、*Z* 轴的电动机抱闸打开。

（2）611U 驱动未就绪（延时检测 T73.1/T72）报警的控制　在 611U 上电过程中 PLC 内部线圈 M130.6 被设置为 1→计时器 T26 打开并延时 30s→就绪检测信号 M130.7 被设置为 1，同时 M130.6 被重设为 0→伴随着 PLC 向 NCK 发送 X、Y、Z 轴伺服使能 V38000002.1、V38010002.1 和 V38020002.1→当 611U 驱动系统不能上电就绪（常开触点 T73.1/T72 不能闭合）时 PLC 输入信号 I0.0 = 0→负逻辑信号 * I0.0 = 1 而使 M30.6 得电→用户报警信号 V16000000.4 被激活且传送至 NCK→在 PCU 屏幕上显示“700004：73.1 – 72 信号未接通而驱动未就绪”报警。

鉴于篇幅所限，关于 MK7132 ×20 成形数控磨床 611U 驱动系统的断电过程不再赘述，有兴趣的读者可根据图 2-9 所示的阶梯逻辑程序自行分析。

4. 611U/UE 的故障诊断及实例分析

可灵活配置的 SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统在安装调试和日常使用过程中，常因线路错误、安装不当和参数配置不对等而出现驱动系统报警或不工作等故障，最终影响机床主轴和进给轴的正常驱动。当 611U/UE 驱动系统发生故障时，维修人员应严格按照“四步到位法”（即故障记录到位→诊断分析到位→故障维修到位→维修记录到位）的要求，合理运用状态指示灯（如电源模块的 6 个运行指示灯）和报警信息（如 PCU 屏幕上或 611U/UE 控制板的 6 字符 7 段带小数点的屏幕上所显示的报警）分析法及备板置换（替代）法、测量比较法等现代故障诊断分析方法，迅速查明驱动系统的故障原因并排除。

（1）611U/UE 驱动系统的部分报警代码及排除方法（见表 2-2）　更多关于 611U/UE 驱动系统的报警代码，读者可查阅附录 B SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统报警代码及排除方法。

表 2-2　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统报警代码及排除方法（部分）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
001	驱动器没有操作系统	存储模块内没有驱动器操作系统	通过 SimoCom U 加载驱动器操作系统
			插装带有驱动器操作系统的存储模块
599	Profibus：循环数据转移被切断	主站与从站间的循环数据转移被切断，实际是因循环帧丢失、参数或配置帧的接收丢失。例如总线连接中断，主站再次高速运行或变为“清除”状态	检查主站到总线的连接；在循环数据转移再次运转时，确认错误
608	速度控制器输出限制	速度控制器在未经许可的转矩或当前限制下被长时间（P1605）控制，监控器作出反应时的最大速度参数为 P1606 对于同步电动机，在正确操作、合理优化轴驱动器时既不会达到其电流限制也不会有较大速度变化（从正向至负向的快速进给往复移动）；通常 P1605 = 200ms，P1606 = 8000r/min 对于感应电动机，加速与制动的最大转矩/电流和平时一样操作，但需监控驱动器的停滞零速度；通常 P1605 = 200ms，P1606 = 30r/min	检查电动机、驱动器与电流接触器的连接
			检查转矩缩短量（P1717）与编码器脉冲数（P1005）
			检查 DC 总线连接的状态及 DC 连接电压是否存在
			除去电动机侧障碍，检查电动机、编码器是否连接（含接地）以及电动机电缆和编码器电缆的完好状态
			检查编码器轨迹转动方向（如齿轮编码器，P1011）
			替换电源部分或控制模块；改变 P1605 和 P1606 以适应轴的机械性能与动态特性；检查转矩减少是否被介入，并经由 P1717 进行诊断（0% 为无转矩、100% 为满转矩）
			线性电动机：检查实际值的反馈，增大电动机最大电流的减少值（P1105），检查电源线的连接等

（2）611U/UE 驱动系统故障的实例分析

1）因线路错误而引起 611U 故障的分析：配置了 SINUMERIK 802D 系统和 SIMODRIVE 611U 驱动系统的 MK7132×20 成形数控磨床，在按下使能键后机床无反应或虽暂时就绪但立即断开且出现急停报警。对于该机床 611U 驱动系统的接线与 PLC 控制，读者可参见第 2.1.1 中“611U 驱动系统在 MK7132×20 成形数控磨床（SINUMERIK 802D）上的应用”。

① 通过对该机床 611U 驱动系统上电过程的分析，可知机床利用阶梯逻辑程序经由中间继电器 KA10、KA8 和 KA9 分别对使能端子 T48、T63 和 T64 进行控制，同时 T72 的状态对使能端子的控制产生互锁（即上电后 T48、T63 和 T64 先后闭合，系统工作正常时 T72 闭合）。

② 当控制 T48、T63 和 T64 的中间继电器接线错误、不动作或信号回馈不良时，机床将出现“按下使能键后无反应”的故障。

③ 当控制 T72 的线路错误或信号回馈不良时，机床将出现“使能一加上又断开”的故障，且 PCU 屏幕显示“700004：73.1－72 信号未接通而驱动未就绪”报警。

④ 当进给轴伺服电动机的电缆线接错（如双轴功率模块上 Y 轴和 Z 轴的动力线接反）时，机床也会出现上述故障。

2）因安装不当而引起 611U 报警（E－A608）的分析：配置了 802C base line 系统和 611U 驱动系统的 GJ606B－SM 前轴铣圆弧面组合机床（见图 2-10），手动操作时机床工作正常，但一进

图 2-10　GJ606B－SM 前轴铣圆弧面组合机床的系统连接图

注：数字输入/输出端中未画出的端子空置。

行自动切削机床 CNC 屏幕上就出现急停报警，且 611U 控制板的 6 字符 7 段带小数点的显示屏幕上出现 E－A608 报警（即速度控制器输出限制）。通过面板上的复位键无法消除报警，机床重新上电后报警消失，但一段时间后又出现相同的现象。

① 查阅附录 B SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统报警代码及排除方法，可知 611U 驱动系统 E－A608 报警为速度控制器输出受限制。造成 E－A608 报警的可能原因及排除方法，可参见表 2-2。

② 利用万用表检查电源电压（AC380V）正常，检查 611U 驱动系统至 X、Z 轴伺服电动机的动力电缆和编码器反馈电缆连接牢固（插头无松动）且接触良好。重新拔插电动机动力电缆和编码器反馈电缆及更换备用电缆后，机床故障依旧。因此判定故障不是连接电缆造成的。

③ 在机床断电的情况下，用事先准备好的 611U 驱动系统调试电缆将外设计算机经由其 COM 端口连接至 611U 的 X471 接口上，同时设定 611U 驱动器的参数 P0801＝0，以选择 RS232 接口进行通信，如图 2-11a 所示。然后机床和外设计算机上电并在计算机中打开 SimoCom U 调试软件，选择联机方式“Search for online drive…”并单击选择 Drive A，观察画面下方的实际电流，如图 2-11b 所示 。此时会发现当 Z 轴移动时，电流值会急剧上升，并超过了伺服电动机 1FK7063 的额定电流 5.6A 而频发 E－A608 报警。但 Z 轴不移动时电流处于平稳状态，机床无报警。用手触摸 Z 轴的功率模块无明显的发热现象，遂更换备用功率模块并重复上述操作，报警依然存在。因此判定故障不是功率模块造成的。

④ 当机床的 Z 轴移动时该轴伺服电动机发热严重，其手感外壳的温度明显高于 X 轴伺服电动机。然后机床断电并用手转动 Z 轴的滚珠丝杠时，感觉非常吃力。于是初步判断故障原因可能为 Z 轴机械安装不当。也可将 Z 轴的伺服电动机与滚珠丝杠脱开，使电动机在无负载的情况下空转运行，观察 Z 轴移动时 SimoCom U 画面下的实际电流值处于平稳状态且机床无报警。由此判定故障原因为 Z 轴机械安装不当。

⑤ 鉴于 Z 轴滚珠丝杠螺母副的润滑状态和密封效果良好（即没有任何积屑等污物黏附）且机械紧固无松动，考虑应为 Z 轴的导轨镶条与导轨间隙太小而使移动部件运动不良——伺服电动机无法拖动滚珠丝杠螺母副。

⑥ 松开导轨镶条的止退螺钉，调整镶条的调节螺母（见图 2-12），移动 Z 轴使其移动灵活，间隙测试值为 0.01mm。然后锁紧止退螺钉。

⑦ 机床重新上电并自动运行程序，上述故障现象消失。

3）因参数配置不对而引起 611U 故障的分析：当利用伺服调试软件 SimoCom U 对配置了 802C base line 系统和 611U 驱动系统的 ϕ460 辊锻机（主要用于各类连杆件的辊锻加工）进行驱动参数的优化后，伺服电动机在运转起动时发出刺耳的嚣叫声，待运行平稳后嚣叫声消失，且机床没有任何报警显示。

① 比对数次优化后的数据发现，电动机产生嚣叫声时其驱动部分与比例增益 Kp 相关的参数 P1407（速度控制器 P 增益）偏大，并比正常状态的 Kp 大 4～5。

② 将参数 P1407 的设定值改为 0.3 后，再次起动伺服电动机时其嚣叫声消失。

③ 参数更改步骤：在 611U 控制板的操作面板上按［P］键后进入参数显示方式→若为双轴驱动器则应同时按住［＋］键和［－］键使参数切换至目标驱动器 A 或 B（驱动器 A 的参数带符号 A…，驱动器 B 的参数带符号 b…）→用［＋］键找到参数 P0651→按［P］键显示 P0651 参数值→操作［＋］键更改数值为 4 以取消数据写保护→按［P］键返回参数显示方式→用［＋］键（或同时按住［＋］键和［P］键以使参数值快速增加）找到参数 P1407→按［P］键显示 P1407 参数值→操作［＋］键或［－］键更改数值为 0.3→按［P］键返回参数显示方式→操作［－］键（或同时按住［－］键和［P］键以使参数值快速减少）找到参数 P0652→按［P］键后再按［＋］键设定 P0652＝1，从而将比例增益 Kp 的改动自 RAM 自动存储至 611U 的

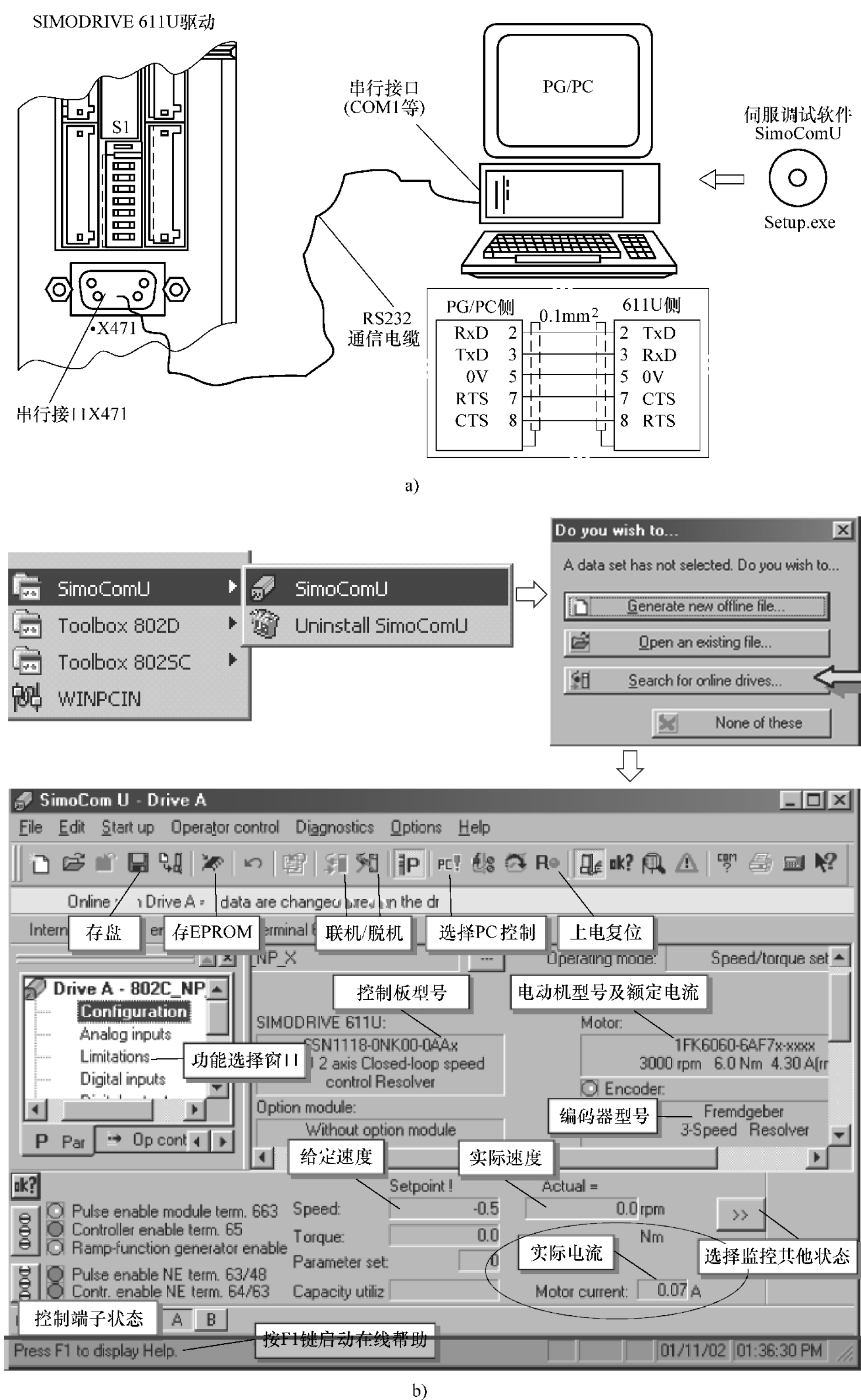


图 2-11　GJ606B－SM 前轴铣圆弧面组合机床 611U 驱动系统的监控

a）外设计算机与 611U 驱动系统的连接　b）利用 SimoCom U 监控伺服电动机的实际电流

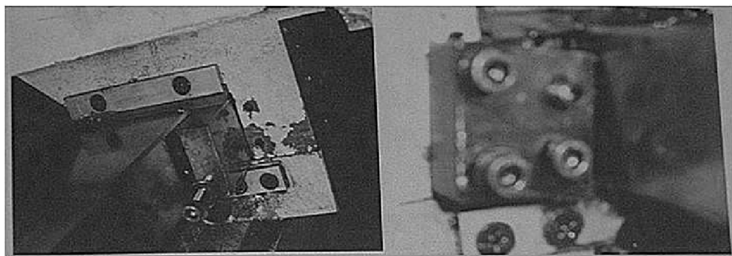


图 2-12 GJ606B－SM 前轴铣圆弧面组合机床导轨镶条的调整

FEPROM 中→写入完成后参数 P0652 自动恢复为 0→用［－］键再次找到参数 P0651→按［P］键后再按［－］键设定参数 P0651＝0 以重新激活数据写保护→按［P］键结束输入即可。

4）因 Profibus 通信不正常而引起 611UE 报警（E－A599）的分析：当利用伺服调试软件 SimoCom U 对选用了 SINUMERIK 802D 系统和 611UE 驱动系统的 HS250CNC 型数控滚刀刃磨床（主要用于刃磨直槽和螺旋槽的滚刀及相似工具或工件，见图 2-13）进行驱动配置后，611UE 控制板的 6 字符 7 段带小数点的显示屏幕上出现 E－A599 报警（即 Profibus：循环数据转移被切断），且故障 LED－F 点亮呈红色（表明 611UE 控制板处于故障状态），同时 Profibus 接口上的指示灯点亮呈绿色（表明总线上有数据交换）。

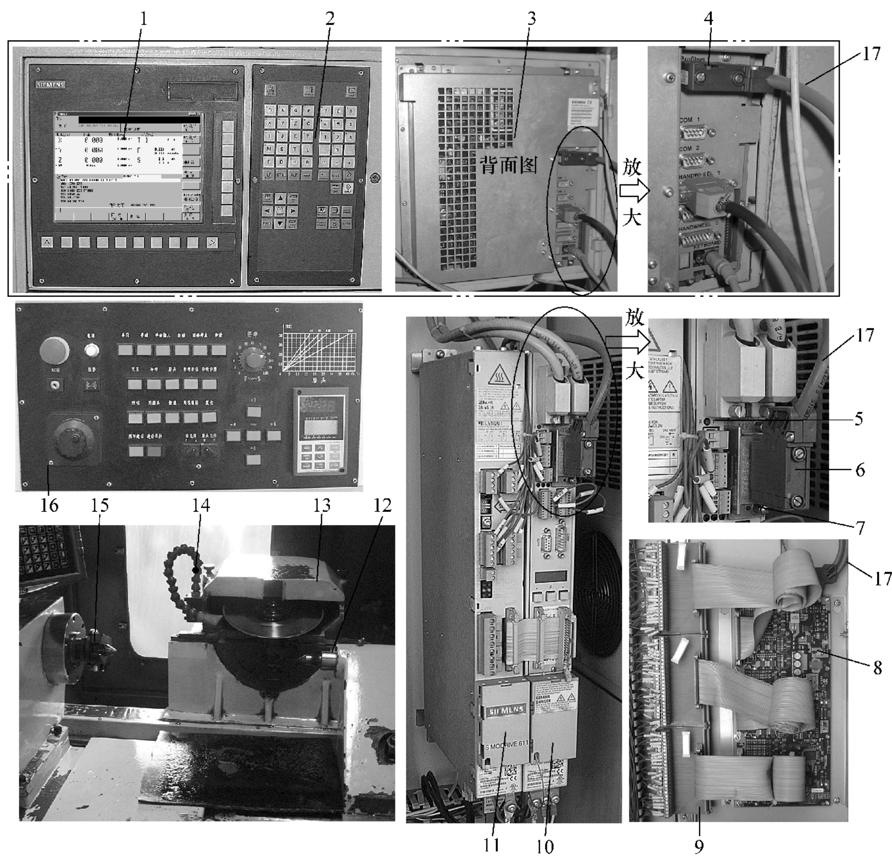


图 2-13 HS250CNC 型数控滚刀刃磨床及其实物连接图

1—802D 正面图 2—垂直 CNC 键盘 3—PCU210.2 4—Profibus 接口 X4 5—故障 LED－F（红） 6—Profibus 接口 X423 7—总线指示灯（绿） 8—PP72/48 I/O 模块 9—端子排 10—611UE 功率模块 11—电源模块 12—尾座 13—砂轮主轴 14—冷却管 15—工件主轴（A 轴） 16—机床控制面板 17—Profibus 总线（紫色）

① 根据以往的维修经验，可知 E－A599 报警主要是由于 Profibus 通信地址设定错误或 Profibus 总线/插头连接不良（重点是驱动系统侧）而导致 Profibus 总线通信不正常并最终触发报警的。

② 按照图 2-14 所示，检查 PCU 面板、PP72/48 I/O 模块和 611UE 功率模块上 Profibus 插头的终端电阻开关状态，未发现错误。然后拆开 Profibus 插头，检查总线屏蔽网与插头内部金属衬层的接触完好，遂更换备用 Profibus 总线电缆并使系统通电，E－A599 报警仍然存在。由此判定故障不是 Profibus 总线电缆及插头连接不良造成的。

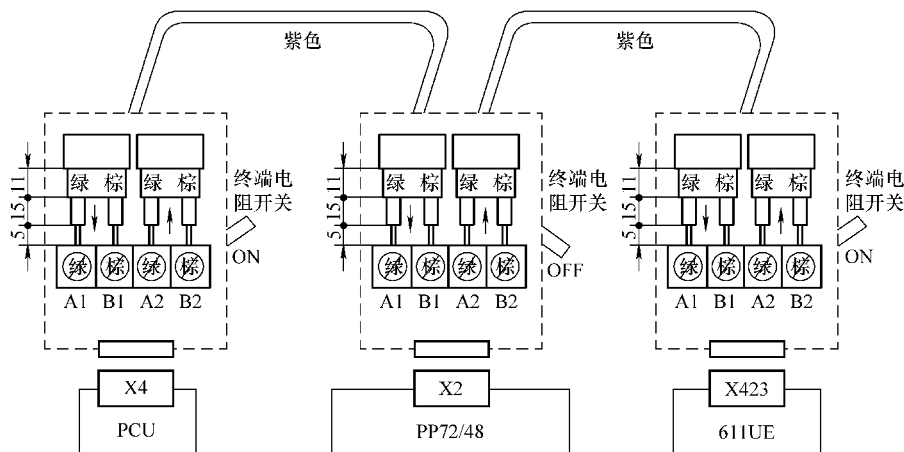


图 2-14　HS250CNC 型数控滚刀刃磨床中 Profibus 现场总线的连接

③ 由于 802D 系统使用通用参数 MD11240 PROFIBUS_ SDB_ NUMBER（选择总线配置数据块 SDB 0－6）对 611UE 驱动系统和 PP72/48 模块进行 Profibus 总线的配置，且 802D 系统通过坐标参数 MD30110 CTRLOUT_ MODULE_ NR［0］（驱动器号/模块号 1－9）和 MD30220 ENC_ MODULE_ NR［0］（驱动器号 1－9）与 611UE 驱动系统建立物理联系，从而对 611UE 的功率模块进行定位，故按照 802D 系统允许的总线配置及通信地址（见表 2-3）对 PP72/48 模块上的地址开关 S1 和 611UE 控制板上的 8 位端子电阻开关 S1 进行仔细核对和重新设定。

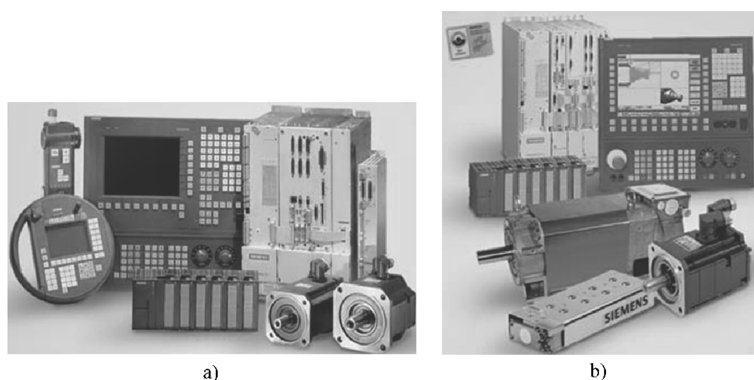
④ 机床重新上电后 E－A599 报警消失。

表 2-3　SINUMERIK 802D 系统允许的总线配置及通信地址

通用参数 MD11240		0	3			4			5			6		
总线配置形式	PP72/48 模块	1＋1	1＋1			1＋1			1＋1			1＋1		
	611UE 驱动器	无	双轴＋单轴＋单轴			双轴＋双轴＋单轴			单轴＋双轴＋单轴＋单轴			单轴＋单轴＋单轴＋单轴		
总线配置形式下 611UE 驱动器所确定的 Profibus 总线通信地址			611UE	通信地址	轴号	611UE	通信地址	轴号	611UE	通信地址	轴号	611UE	通信地址	轴号
			双轴 A	12	1	双轴 A	12	1	单轴	10	5	单轴	20	1
			双轴 B	12	2	双轴 B	12	2	双轴 A	13	3	单轴	21	2
			单轴	10	5	双轴 A	13	3	双轴 B	13	4	单轴	22	3
			单轴	11	6	双轴 B	13	4	单轴	20	1	单轴	10	5
			该形式为最常用			单轴	10	5	单轴	21	2			

2.1.2 SIMODRIVE 611D 驱动系统

SIMODRIVE 611D 是一种模块化的数字式交流伺服驱动系统，主要与 810D 和 840D 系统配合使用（见图 2-15），并可根据驱动任务（进给驱动或主轴驱动）进行多轴及组合驱动的灵活配置，通过数字式闭环控制可实现最高要求的动态响应、速度整定范围以及平滑运行特性。611D 驱动系统不仅可连接 1FT6/1FT7/1FK7 系列同步电动机、1FN3 直线电动机或 1FW6 转矩电动机等，以驱动机床的进给轴，还可连接 1PH/1PM 系列异步电动机或 1FE/2SP1 系列内置电动机，以驱动机床的主轴。



a) b)

图 2-15 611D 驱动系统与 810D 和 840D 系统的组合

a）611D 与 810D b）611D 与 840D

1. 611D 的组成及功能

611D 驱动系统通常由三相伺服变压器（可选件）、主电源/控制电源开关及保护元件、对机床自身益处较大的整流电抗器、对供电电网益处较大的输入滤波器（可选件）、电源模块（又称馈电模块）、功率模块、单轴或双轴的数字式闭环控制板以及其他附件（如脉冲电阻模块、监控模块、外部脉冲电阻器和过电压限制模块）等组件组成（见图 2-16）。

1）整流电抗器：虽然 611D 的电源模块理论上可直接与在一定范围内波动的三相交流电连接，但为了有效抑制输入电网的干扰，进一步提高 611D 驱动系统的工作可靠性及满足电源模块的能量存储要求（即其内部能量逐步升高而不是急剧上升），应在无内置电抗器的电源模块（如 28kW 的 UI 模块和闭环控制的 I/RF 模块）之前的进线电路中加装整流电抗器［如输入电压为三相 AC400V$_{-40}^{\ 0}$ ~ AC480V$_{\ 0}^{+24}$且频率为 50/60Hz（1 ± 10%）的 HF 整流电抗器或 HFD 整流电抗器等］，并且整流电抗器的容量要与电源模块的功率相匹配。当进入电源模块的供电电网电压不能满足 AC380V/400V/415V 等要求时，还应在整流电抗器之前加装与电源模块功率相匹配的伺服变压器。

2）输入滤波器：为了有效消除电波噪声（它是在 611D 工作过程中由电源模块和功率模块上的逆变器产生的）对供电电网的干扰，通常在伺服变压器和进线整流电抗器之后、电源模块之前安装额定输入电压为三相 AC100V ± 10% V 或 415V ± 10% V 且频率为 50/60Hz ± 10% Hz 的输入滤波器，为了满足欧盟的电磁兼容性标准（产品标准 IEC61800 – 3、EN61800 – 3；VDE0160T100，西门子公司将带有整流电抗器的输入滤波器构成一个可与 I/RF 模块的设定变频器模式相匹配的单元/套件。

3）电源模块/馈电模块：611D 的电源模块包括内置式整流电抗器（有的电源模块未配置）、整流模块、预充电控制电路、制动电阻及相应的接触器、检测和监控电路等。其主要功能是利用

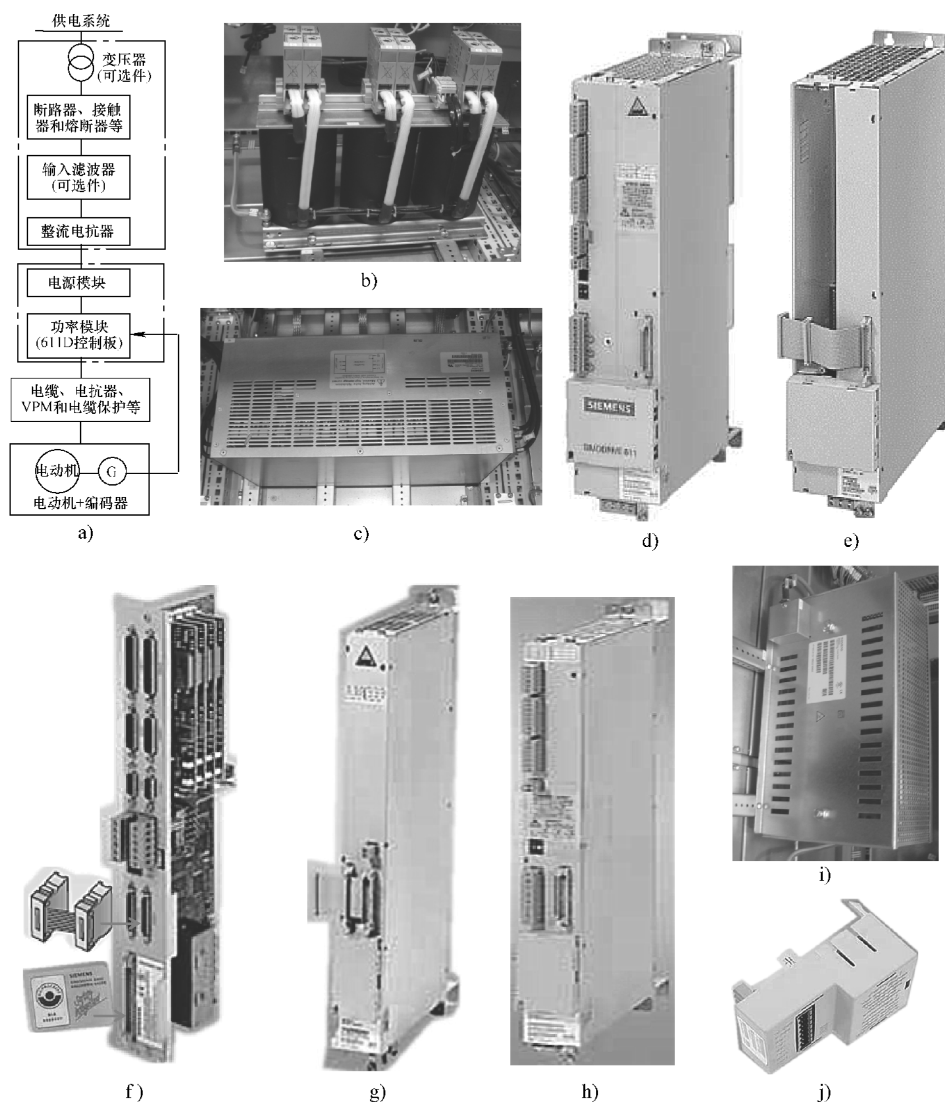


图2-16　611D驱动系统的组成

a）组成框图　b）整流电抗器　c）输入滤波器　d）电源模块　e）功率模块
f）数字式闭环控制板　g）脉冲电阻模块　h）监控模块　i）外部脉冲电阻器　j）过电压限制模块

DEVICE－Bus 设备总线为810D/840D 系统提供控制用的 ±15V、24V 和 5V 电子电源以及通过直流母线为功率模块提供驱动用电源（即直流母线电压），同时检测电源及该模块的工作状态（如直流母线电压和电子电源电压过低或断相等）。根据能量流动方式，可将电源模块分为开环控制的不可控电源模块（亦称非调节型 UI 模块）和闭环控制的可控电源模块（亦称可调节再生反馈型 I/RF 模块）两种（见图2-17）。

① 开环控制的不可控 UI 模块（见图2-18）：无回馈系统的 UI 模块主回路采用不可控的功率二极管将外部输入的三相交流电整流为在 490～644V 范围内波动的直流母线电压（经验公式：$U_{DC}=1.35U_{AC}$）。其正常工作时的母线电压为570V 左右，在电动机制动或减速时直流母线上产生的制动能量因不能回馈至电网而使母线电压高达 DC 640V，且被贮存于直流母线的大电容内，同时超出大电容存储能力的制动能量则通过 UI 模块内部或外部的脉冲制动电阻转化为热能后散发掉。UI 模块多被用于动态响应要求不高、制动能量较小的低压场合，主要有 5kW、10kW 和



图 2-17　611D 电源模块的分类
a）UI 模块　b）I/RF 模块

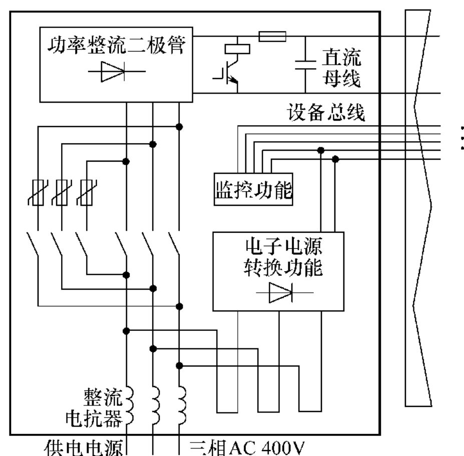


图 2-18　UI 模块的基本功能框图

28kW 三个功率等级。UI 模块不仅具有整流功能、直流母线电压平滑功能和脉冲电阻制动电路功能，还具有电子电源转换和信号监控的功能。

② 闭环控制的可控 I/RF 模块：带回馈系统的 I/RF 模块主回路采用 IGBT 功率晶体管将外部输入的三相交流电整流为可调节的直流母线电压（见图 2-19）。其正常工作时的母线电压一直维持在 DC600V 左右，在电动机制动或减速时直流母线上产生的制动能量将被反馈至供电电网而实现再生，从而优化电控柜的冷却效果和降低能量消耗及确保各驱动轴在恒定的直流电压下工作。I/RF 模块多被用于高动态响应、制动频繁和回馈能量大的场合，且模块的输入处必须连接与之相匹配的三相电抗器，以确保 I/RF 模块的稳定运行。在某些特定场合下，还需要外接脉冲电阻器，以弥补 I/RF 模块内部没有集成脉冲制动电阻的窘境。

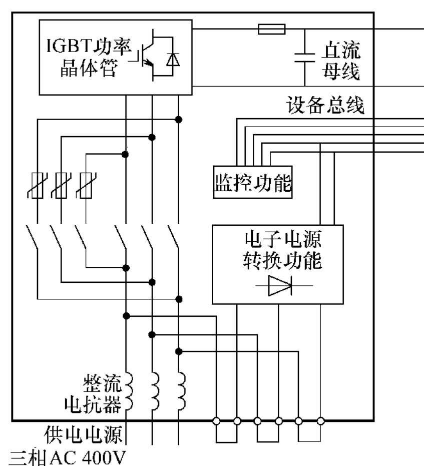


图 2-19　I/RF 模块的功能框图

4）功率模块和数字式闭环控制板：611D 的功率模块是为所驱动的电动机提供频率和电压可变的交流电源，而数字式闭环控制板是用来实现伺服轴位置环、速度环和电流环的闭环控制。根据驱动轴数的多少，611D 功率模块可分为单轴功率模块和双轴功率模块，且按电流安培数对其进行分级。使用时在断电状态下将数字式闭环控制板按正确顺序插入相应功率模块的安装槽内，然后紧固控制板上的两个 M3 螺钉（0.8N·m）。更换控制板时须将驱动系统断电 4min 以上，使其内部大容量电解电容的高压充分释放。

5）脉冲电阻模块和外部脉冲电阻器：

① 当 611D 驱动系统在工作过程中遇到主电源供电失效、主电源的接触器断开或电源模块的再生回馈功能被设为关闭时，电动机产生的多余制动能量将不能被反馈至供电电网。此时加装脉冲电阻模块可实现直流母线电压的快速放电，并把直流母线中的多余能量转化为热能而释放掉。对 5kW 和 10kW 的 UI 模块，因其内部集成有脉冲电阻而无需再连接脉冲电阻模块，只有内置脉冲电阻不够用时才需连接一个外部脉冲电阻器。对小功率的 I/RF 模块，在电源关断及急停制动

时应连接一个脉冲电阻模块。

② 611D 的外部脉冲电阻器可将热量损耗由电控柜内部转移至外部，通常适用于 28kW 的 UI 模块，且最多可连接两个相同的脉冲电阻器。

6）监控模块：目前 611D 的电源模块有两个限制，一是所提供的直流母线容量不超过 120kW，二是其电子电源的供电能力有限。当电源模块的直流母线功率足够而其电子电源的功率不足时，可使用监控模块进行补充。监控模块不仅包含一套完整的电子电源，还具有用于单独或多层驱动模块组的集中监控功能（如直流母线电压，±15V 和 5V 电压）；既可由 400～480V 的三相交流系统供电，也可通过直流母线供电，还可经由交流系统和直流母线同时供电（如使用 ESR 功能控制伺服轴继续停和回退时）。使用时监控模块与电源模块必须按照一定的规则进行连接，即电源模块的设备总线在监控模块之前的一个模块结束（见图 2-20）。

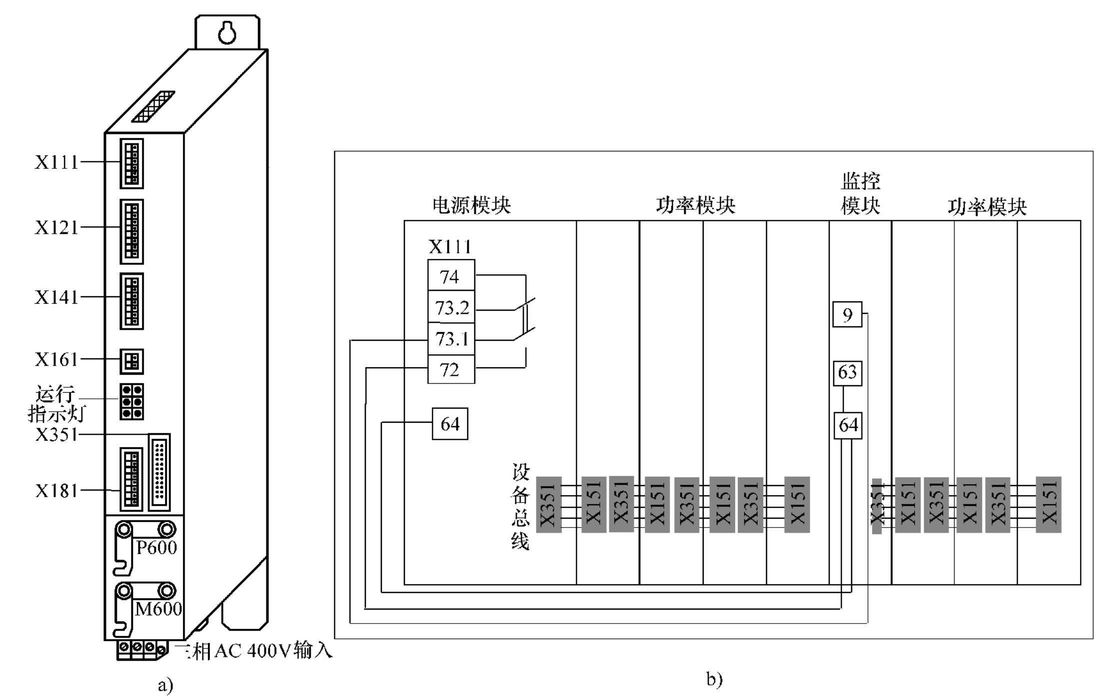


图 2-20　监控模块的接口布置及其与电源模块的连接规则

a）接口布置　b）与电源模块的连接规则

7）过电压限制模块：为了将过电压限制为一个可以接受的值，以确保 611D 驱动系统正常可靠工作，应在以下三种场合使用过电压限制模块，一是电源模块前装有变压器时，二是开关动作、电弧及频繁的供电电源故障等引起过电压时，三是为满足 UL、CSA 认证需求时。通常 5kW 的 UI 模块因其内部集成有过电压限制模块而无需再加装该模块，而对于功率超过 10kW 的 UI 模块或 I/RF 模块，需加装过电压限制模块，并将其直接插入电源模块的 X181 接口中。

2. 611D 组件的接口布置

（1）电源模块的接口（见图 2-21）

1）DIP 开关 S1：由 S1.1 和 S1.4 设定主控制回路（U1，V1，W1）输入电源的类型，其中 S1.1 为 OFF、S1.4 为 OFF 时主控制回路输入电源为三相 AC400V，S1.1 为 ON、S1.4 为 OFF 时主控制回路输入电源为三相 AC415V，S1.1 为 OFF、S1.4 为 ON 时主控制回路输入电源为三相 AC480V。通常主控制回路的输入电源选择三相 AC400V。S1.2 置 OFF（默认）和 ON 时，分别用于选择模块 X111 内部继电器的输出状态为准备好状态和故障信息状态。当 S1.2 为 OFF 处于准

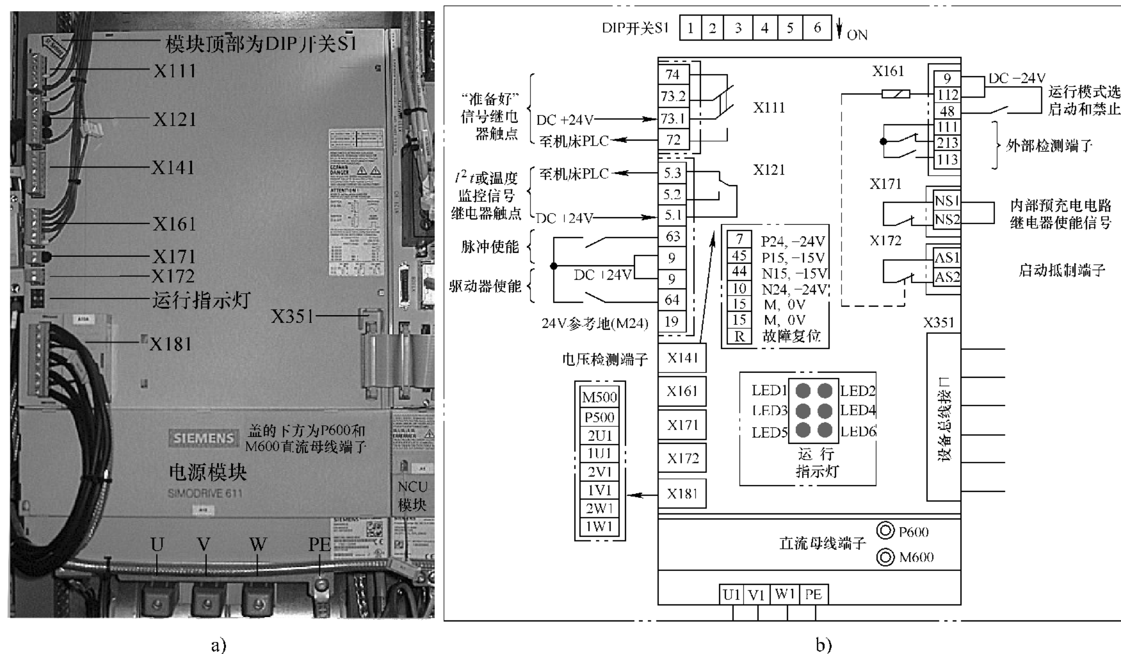


图 2-21 SIMODRIVE 611D 驱动系统中电源模块的接口布置

a）I/RF 模块实物 b）模块上的接口布置

注：粗实线框内为电源模块的内部接线。

备好状态时，在不连接功率模块的情况下，只要连接了 T48、T63 和 T64 的使能且电源模块无故障，X111 内部继电器就会接通并输出信号；在连接功率模块的情况下，不仅连接了 T48、T63 和 T64 的使能且电源模块无故障，还需连接所有数字式闭环控制板上 T663 的使能且功率模块无故障，X111 内部继电器才会接通并输出信号。当 S1. 2 为 ON 处于故障信息状态时，在不连接功率模块的情况下，只要 T48 接通且电源模块无故障，X111 内部继电器就会接通并输出信号；在连接功率模块的情况下，不仅要接通 T48 且电源模块无故障，还需连接部分数字式闭环控制板上 T663 的使能且功率模块无故障，X111 内部继电器才会接通并输出信号。

S1. 3 用于设定 I/RF 模块的再生回馈功能或 UI 模块内的脉冲电阻是否有效，默认 OFF 状态为有效，ON 状态为无效。

S1. 5 用于在配置了 I/RF 模块的前提下进给控制的激活与关闭，S1. 5 = OFF 为激活。

S1. 6 置于 OFF（默认）为方波电流控制，S1. 6 置于 ON 为在配置了 I/RF 模块的前提下采取正弦电源控制。

2）X111：611D 电源模块的内部有一“准备好”继电器，并由 X111 接口提供一副 T73. 1/T72 常开输出触点和一副 T74/T73. 2 常闭输出触点。当驱动系统进入正常工作状态后，T73. 1（DC24V）和 T72 闭合后经由 T72 向 PLC 输出驱动系统就绪信号，否则 PLC 监控出错并在 OP 单元上显示驱动系统未就绪报警。注意：电源模块的准备好信号与模块上 DIP 开关 S1 的设定有关系。

3）X121：T5. 2/T5. 1 和 T5. 3/T5. 1 分别为电源模块过电流或电动机温度报警继电器（I^2t）的常开触点与常闭触点，触点的驱动能力均为 DC 50V/500mA。T63/T9 为电源模块的脉冲使能输入信号（DC13 ~ 30V），该信号同时对所有连接的驱动模块有效，该信号取消后所有轴的速度给定电压为零，且轴以最大的加速度停车。T64/T9 为驱动器控制使能输入信号（DC 13 ~ 30V），系统上电后 T63 使能生效，T9 的 DC + 24V 供给 T64，并使轴驱动模块的控制使能生效。T64/T9 的控制使能输入和取消均同时作用于所有驱动模块，且控制使能取消后所有轴的速度设定值置

零，待设定的延迟时间（如 200ms）到达后驱动器及其脉冲使能失效，从而使电源模块转入制动状态。T19 为 24V 参考地。

4）X141：用于电源模块维修诊断时的电压检测或连接外部控制电路，T7/T44 和 T45/T10 分别提供电流为 10mA 的 ±24V 和 ±15V 直流输出，T15 为 0V 公共端。TR 为电源模块报警的复位端子，若将 TR 与 T15 短接，则驱动系统被复位。

5）X161：T9 为电源模块使能后向外输出 DC +24V 的端子。T112 为电源模块调试运行模式和正常运行模式转换的控制端子（DC 13 ~ 30V），通常与 T9 短接而使电源模块处于正常运行模式。当 T112 与 T9 断开时电源模块处于调试运行模式，此时直流母线电压仅为 DC30V。T48 为主回路继电器的控制端子，用于电源模块的启动和停止。当 T48 使能生效时直流母线的预充电电路经压敏电阻后接通，直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右），然后接通脉冲使能 T63，并使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V）。T213/T111（常闭触点）和 T113/T111（常开触点）为电源模块内部主接触器触点是否闭合的外部检测端子。以 T213/T111 为例，当电源模块内部主接触器闭合时 T213/T111 断开，万用表测量两端子间电阻值应为∞；当主接触器断开时 T213/T111 接通，万用表测量两端子间电阻值应为 0。

6）X171：NS1 为 +24V 输出端子，NS2 为输入端子，NS1/NS2 用于电源模块内部直流母线预充电电路继电器使能的控制，通常将其短接处理。当 NS1/NS2 断开时，预充电电路继电器将不能闭合而使预充电电路不能正常工作，从而导致电源模块无法正常启动。

7）X172：AS1/AS2 为驱动系统内部的常闭触点，并受 X161 接口中 T112 的控制，主要用来反映主继电器的闭合状态。作为 611D 电源模块正常工作的使能条件为 T48/T112/T63/T64 均接高电平，NS1/NS2 短接，且运行指示灯中仅黄色 LED4 点亮，此时直流母线电压在 600V 左右。

8）X181（见图 2-22）：P500/M500 为模块内部电子电源的辅助供应端子，通常空置不连接。当模块内部电子电源需要在机床主电源断开后的一小段时间内仍保持有效以实现伺服轴在紧急情况下的自动回退等特殊要求时，可将 P500/M500 分别与电源模块的直流母线端子 P600/M600 进行连接，最终依靠直流母线的放电来维持电子电源一小段时间内的供电。

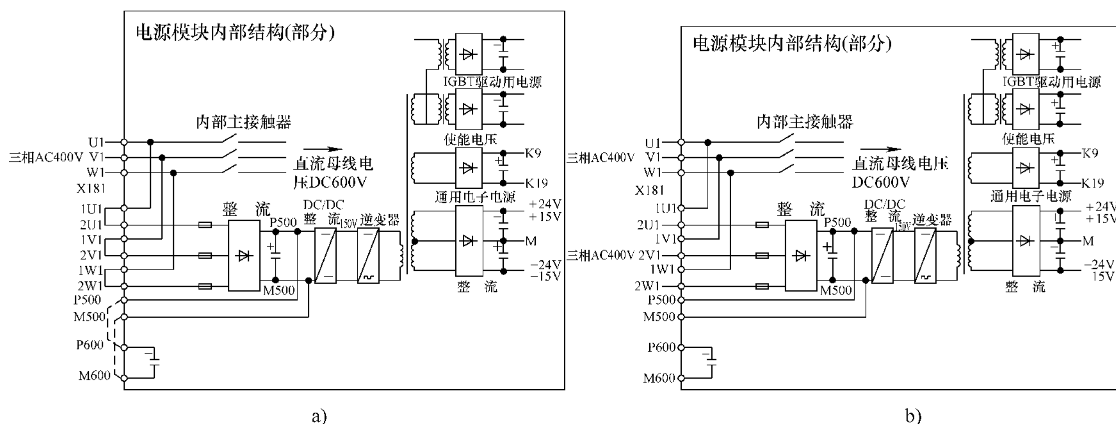


图 2-22 611D 电源模块中电子电源的两种供电方式

a）连接 P500 – P600 和 M500 – M600 用于断电保持有效

b）经由端子 2U1、2V1 和 2W1 对模块的电子电源进行外部供电

注：短接 1U1 – 2U1、1V1 – 2V1 和 1W1 – 2W1 为通常接法。

1U1/1V1/1W1 为主回路电压输出端子，在模块内部已分别与三相 AC400V 输入主电源的 U1/V1/W1 连接；2U1/2V1/2W1 为容量 80kW 及以上的电源模块中外部控制电源的输入端子。

9）X351：设备总线接口，为后面所连接的功率模块提供电子电源、使能信号和监控信号，

与后续功率模块的 X151 接口连接。

10）6 个运行指示灯：左侧红色 LED1、绿色 LED3 和红色 LED5 分别为 ±15V 电子电源故障、外部使能信号 T63 或 T64 丢失（即 T63/T64/T48 未与 T9 接通）、外部供电故障（即三相主电源进线断相等）的状态指示，右侧红色 LED2、黄色 LED4 和红色 LED6 分别为 5V 电子电源故障、电源模块正常运行且直流母线预充电结束、直流母线过电压的状态指示。当数控机床发生故障时，维修人员可借助这 6 个指示灯来分析电源模块发生故障的原因，以快速恢复机床运转。这就是维修方法中所谓的状态指示灯分析法。

（2）数字式闭环控制板的正面接口（见图 2-23） 具有单轴模块和双轴模块两种结构型式的 611D 数字式闭环控制板，在断电状态下应按正确顺序插入相应功率模块的安装槽内，并用两个 M3 螺钉（0.8N·m）进行紧固。在工作时 611D 将通过一根数据总线与 810D 的 CCU 或 840D 的 NCU 实现通信，并自数控系统的 NCK 中下载所需的驱动软件（如速度环和电流环的参数及电动机配置信息等）。

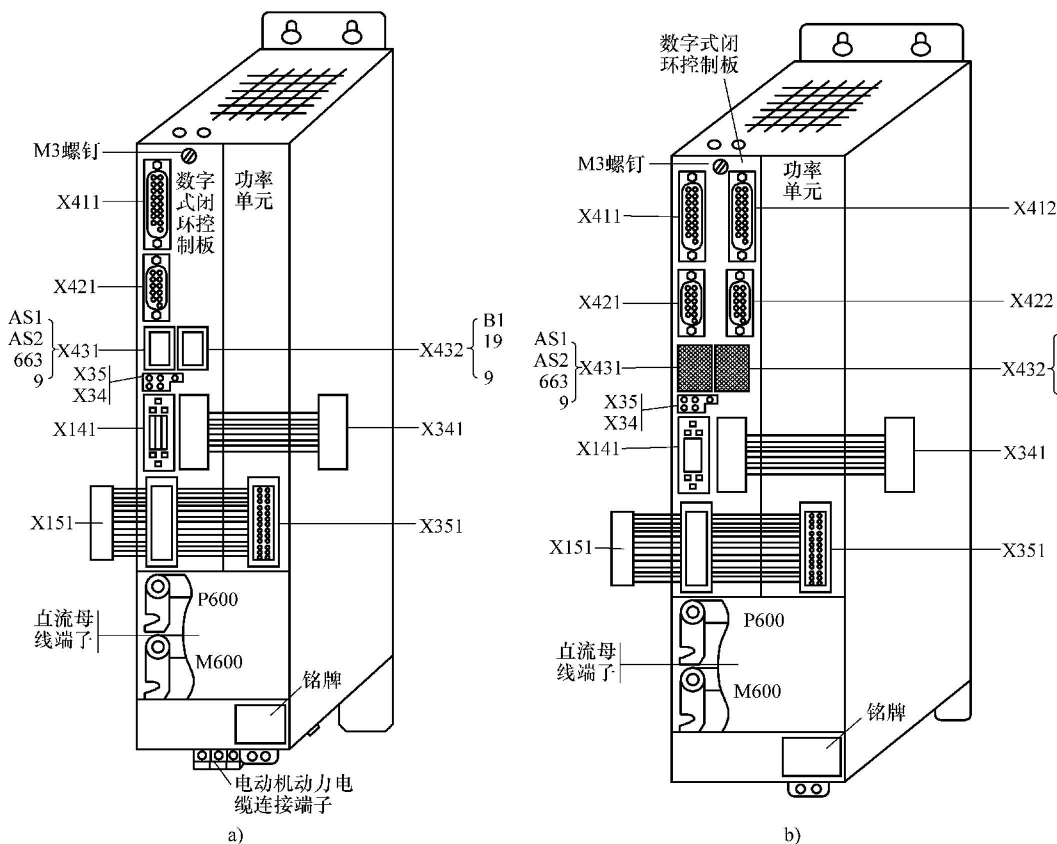


图 2-23 SIMODRIVE 611D 驱动系统中控制板的接口布置
a）单轴功率模块 b）双轴功率模块

1）X411/X412：分别为轴 1 和轴 2 的电动机编码器接口，属于半闭环控制的间接测量。该接口中包含电动机编码器信号和用于电动机温度检测的热敏电阻信号，其中热敏电阻信号经由针脚 13 和 25 输入。该热敏电阻 20℃和 100℃时的电阻值分别约为 580Ω 和 1kΩ，120℃ ±5℃时电阻值约为 1.2kΩ 并进行过热报警响应，155℃ ±5℃时电阻值约为 1.5kΩ，并由数字式控制板来关断伺服电动机的电源。

2）X421/X422：分别为轴 1 和轴 2 的直接测量系统输入接口，用于连接光栅尺或外部编码

器等位置检测装置，以实现伺服系统的全闭环控制。

3）X431：AS1/AS2 为功率模块的启动抑制端子（属安全集成功能），两端子间串接了受脉冲使能信号 T663 控制的启动抑制安全继电器的常闭触点，当功率模块正常启动时该常闭触点打开（见图 2-24）。T663 为指定功率模块的脉冲使能端子，在 T663 与 T9（+24V 使能电压输出端子）之间不仅可串接一个由 PLC 控制的继电器常开触点，通过该触点的闭合使被控制的功率模块使能启动，还可直接将两端子短接使系统一上电 611D 功率模块就使能启动。

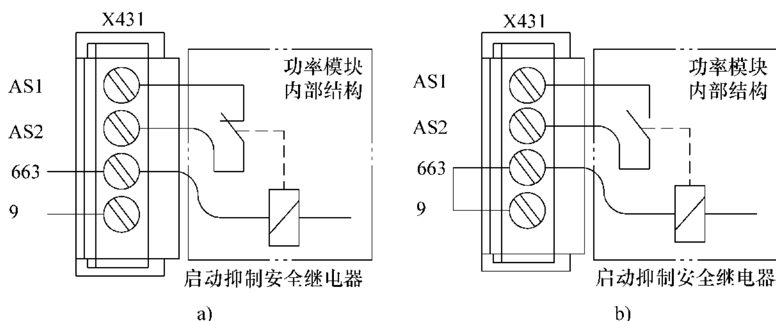


图 2-24 功率模块中 AS1/AS2 启动抑制信号动作示意图
a）脉冲未使能，IGBT 开关被抑制 b）脉冲使能，IGBT 开关使能

4）X432：T19 为 0V 使能电压端子，T9 为 +24V 使能电压端子。TB1 和 TB2 分别为轴 1 与轴 2 的外部零脉冲信号输入端子，主要用于零标记位信号的检测，如伺服轴的同步控制。该零脉冲信号通过 BERO 接近开关产生。

5）X34/X35：为数字式闭环控制板提供 3 个 8 位 D/A 转换器测试端口，用于转速、电流等数字量信号的跟踪，并将其转换为 0～5V 的模拟电压后输出，输出信号形式需在系统的 HMI 界面上进行选择设定。默认的 3 个测试端口中 DAC1 为电流给定值，DAC2 为速度给定值，DAC3 为速度实际值，GND 为参考地。

6）X141/X341：驱动总线接口，用于 611D（不具备存储功能）启动后自数控系统的 NCK 中下载所需的驱动软件（如速度环和电流环的参数及电动机配置信息等），并传送至其他功率模块中。接口 X141 与左侧功率模块的接口 X341 连接，而接口 X341 与右侧功率模块的接口 X141 连接。对于第 1 块功率模块则需将 X141 连接至 NCU 模块的 X130A 或 CCU 模块的 X130。

7）X151/X351：设备总线接口，用于功率模块所需电子电源、使能信号和监控信号的提供。接口 X151 与电源模块的 X351、左侧驱动模块的 X351、NCU 模块的 X172 或 CCU 模块的 X151 连接，而该模块上的接口 X351 用于连接右侧功率模块的 X151。

3. 611D 在 PF6－S2500 数控磨床上的应用

PF6－S2500 数控磨床（见图 2-25）选用 SINUMERIK 840D 系统，并配置 NCU571.5 模块、基于 WinXP ProEmb 平台的 PCU50.3 模块、带 10.4in STN 彩色显示屏（分辨率 640×480）的操作面板 OP010 以及 MPI 总线连接的机械式按键面板 MCP483C 等操作部件，主要用于重型汽车 ST16 冲压式驱动桥壳轴头（$\phi91_{-0.094}^{-0.072}$mm 和 $\phi110_{+0.003}^{+0.025}$mm 及 $R12$mm 圆弧）的外圆磨削加工。该磨床不仅采用规格为 $\phi750$mm×80mm×305mm－WA46L 的 15°斜进切入式组合砂轮，使用由较小天然金刚石颗粒人为排列烧结而成的片状金刚笔修整磨削砂轮，修整时 840D 系统根据预先编制的砂轮修整程序指令，控制 X、Z 伺服轴联动，从而修整出与 ST16 冲压式驱动桥壳被磨削部位相吻合的砂轮形状，而且还使用 Marposs P5 在线径向测量仪和端面量仪来监控磨削过程中桥壳轴头外径的尺寸变化，并进行磨削前桥壳端面的定位（Z 轴）测量。

（1）砂轮主轴的控制过程 PF6－S2500 数控磨床的砂轮主轴采用微处理器控制的变频器

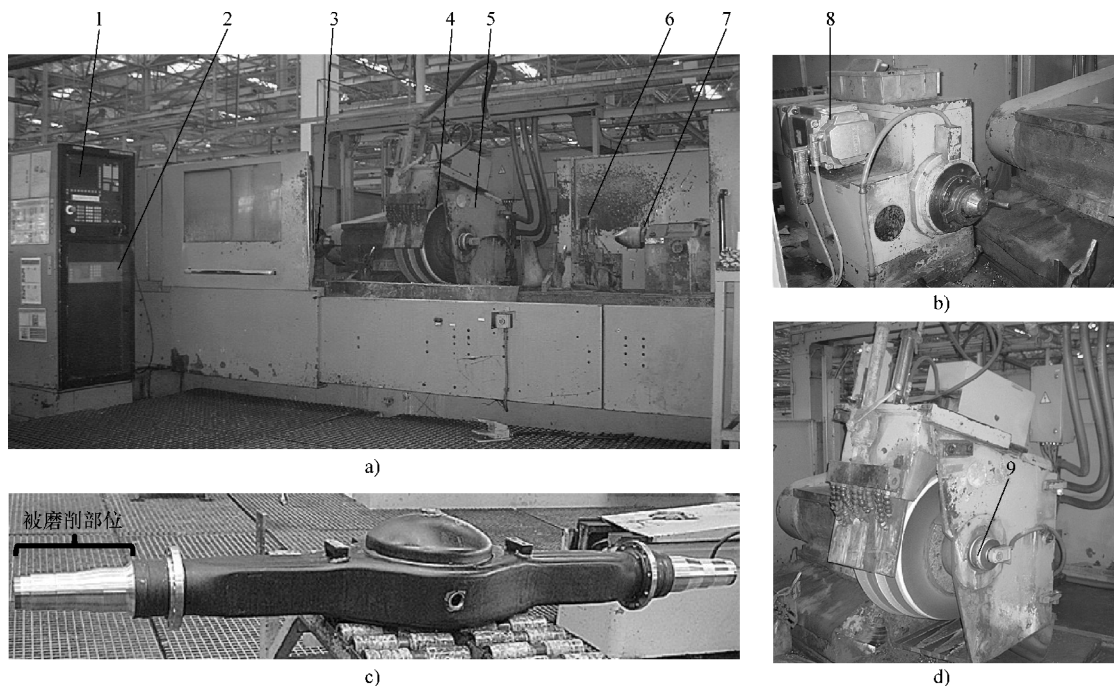


图 2-25 PF6 - S2500 数控磨床及被磨削工件

a）PF6 - S2500 数控磨床整体外形图 b）头架（工件主轴）放大图

c）重型汽车用 ST16 冲压式驱动桥壳 d）砂轮架放大图

1—840D 系统（OP010，PCU50.3） 2—Marposs P5 控制箱 3—机床头架（工件轴） 4—砂轮架

5—砂轮护板 6—径向、端面量仪 7—机床尾座 8—头架伺服电动机 9—砂轮动平衡仪

MicroMaster440 驱动普通异步电动机，进而实现调速控制（见图 2-26），它不仅可在 JOG 方式下单击 MCP483C 上的［砂轮起/停］按键 S21 来实现磨削砂轮的手动起动或停止，还可在 MDA 或 AUTO 方式下使用辅助功能代码 M50（M51）并单击 MCP483C 上的［CycleStart］（［CycleStop］）按键来实现砂轮的自动起动（停止）。作为变频器动作所需的输入输出信号是通过数字量输入模块 SM321 和数字量输出模块 SM322 及模拟量输出模块 SM332 来实现输入和输出的，PLC 控制程序采用符合 IEC 61131 - 3 标准的指令表（西门子公司称其为语句表 Statement List，即 STL）进行编程。

1）砂轮的手动起动或停止（见图 2-27）：机床处于 JOG 方式时 NCK 经由接口 DB11.DBX6.2 向 PLC 发送 JOG 方式激活信号→操作者按下 MCP 上［砂轮起/停］按键 S21 后 PLC 输入信号 I7.3 接通→DB11.DBX6.2 和 I7.3 的常开触点组成的串联电路在由断开变为接通时被 M107.3 的上升沿检测到 1 次正跳变（能流在扫描周期内流过检测元件）→M107.4 的线圈在 1 个扫描周期内通电→在急停按钮释放后信号 I32.3 = 1 的情况下 Q5.3 线圈通电→MCP 上砂轮起/停指示灯 LED21 点亮以提示操作者机床的砂轮主轴正处于起动状态→Q5.3 线圈通电的同时 M107.5 线圈通电并自锁→Q34.6 线圈通电而使继电器 KA23 线圈得电（其常开触点闭合）→变频器驱动砂轮电动机起动。

当操作者再次按下［砂轮起/停］按键 S21 后→M107.4 线圈通电（其常闭触点断开）→Q5.3 线圈断电使 MCP 上的 LED21 熄灭→Q5.3 断电的同时 M107.5 断电进而 Q34.6 断电→砂轮电动机停止运转。

2）M50 和 M51 分别控制磨削砂轮的自动起动与停止（见图 2-28）：机床处于 AUTO（MDA）方式时 NCK 经由接口 DB11.DBX6.0（DB11.DBX6.1）向 PLC 发送 AUTO（MDA）方式激活信号→840D 系统执行至辅助功能代码 M50 时 NCK 经由动态接口 DB21.DBX200.2 向 PLC 发送 M 代码激活

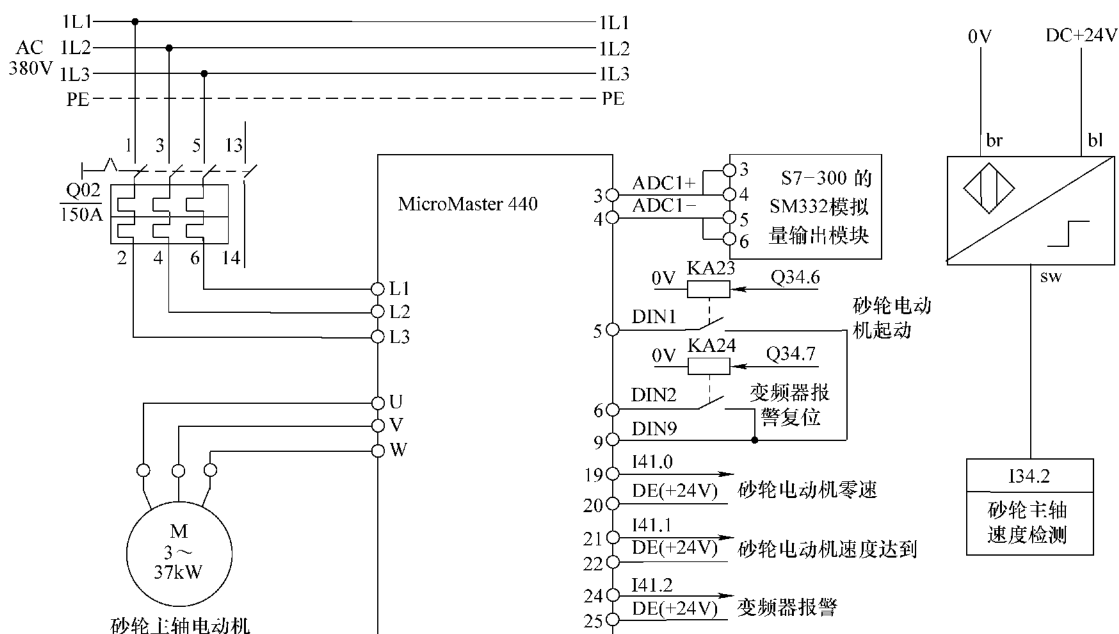


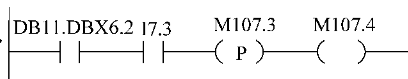
图 2-26 PF6－S2500 数控磨床砂轮主轴的控制电路

PF6－S2500数控磨床/FC100“机床面板 PLC−MA”
程序段2:

//定义JOG方式下MCP上[砂轮起/停]按键

```
A    DB11.DBX  6.2
A    I         7.3
FP   M         107.3
=    M         107.4
```

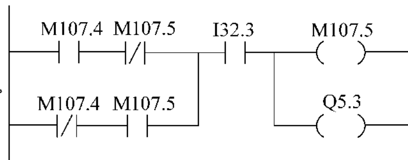
等效梯形图



//定义[砂轮起/停]按键脉冲并控制MCP上LED21点亮

```
A(
A    M    107.4
AN   M    107.5
O
AN   M    107.4
A    M    107.5
)
A    I    32.3
=    M    107.5
=    Q    5.3
```

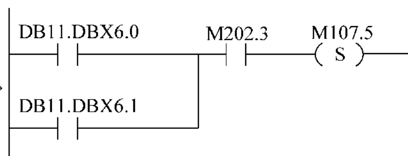
等效梯形图



//控制AUTO或MDA方式下MCP上LED21点亮

```
A(
O    DB11.DBX   6.0
O    DB11.DBX   6.1
)
A    M    202.3
S    M    107.5
```

等效梯形图



PF6 S2500数控磨床/FC110“机床轴接口PLC−MA”
程序段6:

//控制继电器KA23线圈得电以使砂轮电动机起动

```
A    M    107.5
A    I    32.3
=    Q    34.6
```

等效梯形图

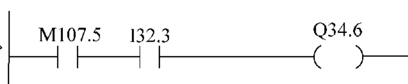
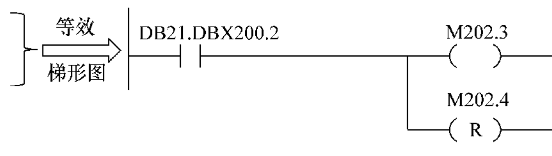


图 2-27 PF6－S2500 数控磨床砂轮手动起动或停止的PLC程序

PF6－S2500数控磨床/FC121“辅助功能”
程序段18：

```
//定义 M50 代码控制砂轮上轴自动起动
  A      DB21.DBX  200.2
  =      M         202.3
  R      M         202.4
```




```
//定义 M51 代码控制砂轮主轴自动停止
  A      DB21.DBX  200.3
  =      M         202.4
  R      M         202.3
  R      M         107.5
```

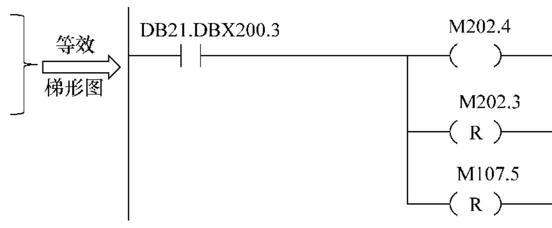


图 2-28　PF6－S2500 数控磨床砂轮自动起动或停止的 PLC 程序

信号→PLC 读取该信号后对砂轮自动起动中间线圈 M202.3 通电同时利用复位指令 R 将砂轮自动停止中间线圈 M202.4 复位（即变为 0 状态并保持）→图 2-27 的功能 FC100 程序中 M107.5 线圈被置位为 1 状态（得电）并保持→Q34.6 和 Q5.3 线圈通电→继电器 KA23 线圈得电（其常开触点闭合）进而变频器驱动砂轮电动机起动同时 MCP 上指示灯 LED21 点亮以提示操作者机床的砂轮主轴正处于起动状态。

当 840D 系统执行至 M51 时→PLC 读取 NCK 经由动态接口 DB21. DBX200.3 向其发送的 M 代码信号→M202.4 线圈通电且 M202.3 和 M107.5 线圈被复位为 0 状态（失电）并保持→Q34.6 线圈断电进而砂轮电动机停止运转同时伴随着 Q5.3 线圈断电 MCP 上的 LED21 熄灭。

3）利用 R 参数控制砂轮主轴的速度（见图 2-29）：在数控磨削加工中，砂轮表面磨粒与被磨削工件之间产生的具有高速、高温和高压特性的磨削区将使得砂轮表面磨粒破碎或脱落，直至变钝（有时使砂轮外形丧失精度），进而削弱砂轮的磨削性能，因此有必要利用预先编制好的修整程序（与被磨削工件廓形相吻合）控制片状/柱状金刚笔或修整轮对磨削砂轮表面进行修整。伴随着砂轮的修整，砂轮直径 D（单位为 m）会越来越小，其线速度 v（单位为 m/s）也会随之变小［计算公式为 $v=\pi Dn/60$，n 为砂轮转速（单位为 r/min）］，从而导致磨削精度和磨削效率的降低。所以在磨削加工中必须实时测量砂轮直径，并据其随时调整砂轮的转速，以实现磨削砂轮的恒线速控制。PF6－S2500 数控磨床是利用 840D 系统的 R 参数（变量）在 NC 和 PLC 之间进行数据传递，然后由 PLC 自动给定变频器的频率，进而实现砂轮的恒线速控制。

① 由 PLC 自 NC 中读入 R 变量数据（见图 2-29）：当 S7 CPU317－2DP 操作系统周期性地执行组织块 OB1（用于循环处理的主程序）时，经 OB1 中的“CALL FC 122”语句调用与 R 变量数据读入相关的功能程序 FC122。为实现砂轮预设定线速度 R4 和砂轮当前直径 R6 等 R 变量数据的正确读取，不仅要在 FC122 中利用“CALL FB2，DB130”语句调用 PLC 基本程序所提供的功能块 FB2，还要在暖启动组织块 OB100 中设定功能块 FB1 的参数 NCKomm＝TRUE，以允许 NC 和 PLC 间交换数据。当 M97.6 被置位为 1 状态并保持时，启动功能块 FB2 操作请求由 PLC 自 NC 中读取 R 变量数据。当 R 变量数据传输成功时 M97.5＝1，接着 M97.6 被复位为 0 状态并保持，R 变量数据的读取操作被取消。当 R 变量数据传输出错时 M97.4＝1，接着 M97.6 被复位为 0 状态并保持，R 变量数据的读取操作被取消。同样按下 MCP 上［RESET］按钮 S13 时也可取消 R 变量数据的读取操作。对于 R 变量数据传输出错的情况，可由错误标识参数 State 的状态字 MW440 查询故障的类型（见表 2-4）。

```
PF6-S2500数控磨床/FC122"读入R变量数据"
程序段1：读NC变量条件
// 数据传输未出错的前提下将M97.6置位为1状态，以启动FB2调用
   A    M    80.1   // 串联M80.1(逻辑1)的常开触点
   AN   M    97.4   // 串联M97.4(数据传输出错)的常闭触点
   S    M    97.6   // 将M97.6(FB2操作请求)置位为1并保持
// 数据传输成功、按下MCP上的复位按钮或数据传输出错时.
// 将 M97.6复位为0状态，以停止FB2调用
   A    M    97.6   // 串联M97.6(FB2操作请求)的常开触点
   A    M    97.5   // 串联M97.5(数据传输成功)的常开触点
   O                // 利用逻辑或并联支路
   A    I     3.7   // 串联MCP上[RESET]按钮S13的常开触点
   A    M    97.4   // 串联M97.4(数据传输出错)的常开触点
   O                // 利用逻辑或并联支路
   A    M    97.6   // 串联M97.6(FB2操作请求)的常开触点
   A    M    97.4   // 串联M97.4(数据传输出错)的常开触点
   R    M    97.6   // 将M97.6(FB2操作请求)置位为0并保持
程序段2：利用PLC程序中的FB2读取NC变量并分配背景数据块DB130
  CALL FB   2 , DB  130  // 调用FB2块程序并分配DB130
   Req      :=M97.6    // FB2操作请求，每激活1次读操作执行1次
   NumVar   :=8        // 输入要读取NC变量的个数
   Addr1    :="rpa0-7".C0_RP_rap0_1      // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit1    :=B#16#1   // B#16#表示16进制字节
   Column1  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line1    :=W#16#1   // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr2    := "rpa0-7" .C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit2    := B#16#1
   Column2  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line2    :=W#16#2   // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr3    := "rpa0-7" .C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit3    :=B#16#1
   Column3  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line3    :=W#16#3   // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr4    :=  "rpa0-7".C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit4    := B#16#1
   Column4  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line4    := W#16#4  // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr5    :=  "rpa0-7".C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit5    := B#16#1
   Column5  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line5    := W#16#5  // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr6    :=  "rpa0-7".C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit6    := B#16#1
   Column6  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line6    := W#16#6  // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr7    :=  "rpa0-7".C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit7    := B#16#1
   Column7  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line7    := W#16#7  // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Addr8    :=  "rpa0-7".C0_RP_rap0_1    // 自NC变量选择器中
                                         // 获取的变量标识，
   Unit8    := B#16#1
   Column8  :=         // 可选变量寻址的列地址
   Line8    := W#16#8  // 可选变量寻址的行地址(16进制字)
   Error    := M97.4   // 数据传输出错时M97.4=1，正常为0
   NDR      := M97.5   // 数据传输成功时M97.5=1，否则为0
   State    := MW440   // 数据传输不成功时经由状态字MW440判定原因
   RD1      :=DB136.DBD0  // 读NC中参数R0(修整刀对刀的X_MCS坐标)
   RD2      :=DB136.DBD4  // 读NC中参数R1(修整刀对刀的Z_MCS坐标)
   RD3      :=DB136.DBD8  // 读NC中参数R2(工件对刀的X_MCS坐标)
   RD4      :=DB136.DBD12 // 读NC中参数R3(工件对刀的Z_MCS坐标)
   RD5      :=DB136.DBD16 // 读NC中参数R4(砂轮预设定线速度，40m/s)
   RD6      :=DB136.DBD20 // 读NC中参数R5(砂轮初始直径，750mm)
   RD7      :=DB136.DBD24 // 读NC中参数R6(砂轮当前直径，mm)
   RD8      :=DB136.DBD28 // 读NC中参数R7(备用)
```

图 2-29　读入 R 变量数据的功能 FC122 程序（部分）

表 2-4　功能块 FB2 执行出错的故障代码

状　　态		描　　述	备　　注
WORD H	WORD L		
1 to 8	1	访问错误	读取变量时在高字节发生错误的个数
0	2	任务错误	任务的变量编译错误
0	3	任务未执行	内部错误，NC RESET
1 to 8	4	本地用户存储空间不足	读取变量的长度超过了 RD1 ~ RD8 中指定长度，在高字节中显示某个变量出现错误
0	5	格式转化错误	变量转换错误，DOUBLE 变量类型不属于 S7 REAL 类型
0	6	FIFO 满	任务必须重新启动
0	7	选项未设置	组织块 OB100 中 FB1 的参数 NCKomm 未设定为 TRUE
1 to 8	8	目标区域错误	RD1 ~ RD8 可能是局部数据
0	9	数据传送忙	传送任务必须重新启动
1 to 8	10	变量寻址错误	参数 Unit，Column，Line 包含 0 值
0	11	变量地址无效	检查地址，如变量名、区域或 Unit 参数等
0	12	NumVar = 0	检查参数 NumVar

② PLC 依据读取的 R 变量数据计算出与砂轮当前直径相对应的砂轮电动机速度后，利用"CALL FC 106"语句调用砂轮电动机速度输出的功能程序 FC106，并将结果以外设输出字形式传送

至模拟量输出模块 SM332（见图 2-30）。再由 SM332 将其转化为对应的模拟电压（0～10V），并输出至变频器进而变频器驱动砂轮电动机旋转，最终实现砂轮主轴的恒线速控制。另外在砂轮主轴侧安装一个计数开关（PLC 输入信号为 I34.2），以砂轮主轴转 1r 所需的时间来间接检测砂轮主轴的运行速度，然后与 R 变量数据所确定的砂轮主轴运行速度（即转 1r 所需的时间）相比较。

```
PF6-S2500数控磨床/FC125"砂轮主轴速度控制"
程序段1：砂轮电动机速度的输出
// 参数R4设定的砂轮线速度转变为圆周速度
   L      DB136.DBD   16      // 装入R4
   L      6.000000e+001       // 装入60
   *R                         // 乘法运算
   T      MD     340          // 送至MD340
// 经由参数R6计算当前砂轮的周长
   L      DB136.DBD   24      // 装入R6
   L      3.141593e+000       // 装入π
   *R                         // 乘法运算
   T      MD     344          // 送至MD344
// 计算砂轮电动机的速度
   L      MD     340       // 装入60R4
   L      MD     344       // 装入πR6
   /R                      // 除法运算
   L      7.183908e+002  // 装入电动机齿轮比
   *R                      // 乘法运算
   T      MD     348       // 送至MD348
// 经模拟量输出模块SM332对变频器进行控制
   CALL  FC     106
   IN        :=MD348      // 输入MD348
   HI_LIM   :=1.475000e+003     // 最高
   LO_LIM   :=0.000000e+000     // 最低
   BIPOLAR:=FALSE
   RET_VAL:=MW50                // 返回值
   OUT      :=PQW464            // 外设输出字
程序段2：砂轮主轴的设定速度
// 参数R4和R6确定的砂轮主轴速度
   L      MD     340       // 装入60R4
   L      MD     344       // 装入πR6
   /R                      // 除法运算
   L      1.000000e+003    // 装入1000
   *R                      // 乘法运算
   T      MD     610       // 送至MD610
   T      DB136.DBD   128  // 送至NC的R32

程序段3：砂轮主轴每转用时(实际速度检测)
// 砂轮电动机启动(Q34.6=1)后的辅助控制
   A      Q      34.6     dressrun.q
   A      I      32.3     esp.i
   =      M      140.0    WHEELSP_RUN
// 砂轮电动机起动后开始1r计时
   A(
   O      M      140.0    WHEELSP_RUN
   O      M      140.1    WHEELSP_1R_TIME
   )
   AN     M      140.6    WHEELSP_PULSE
   =      M      140.1    WHEELSP_1R_TIME
// 以脉冲形式检测砂轮主轴速度(I34.2)
   A      M      140.0    WHEELSP_RUN
   A      I      34.2     WL_SPEED.I
   =      M      140.6    WHEELSP_PULSE
// 延时10ms后接通定时器T150
   A      M      140.0    WHEELSP_RUN
   AN     M      140.3    WL_RUN_10MS_TIMER
   L      S5T#10MS
   SD     T      150       // 接通延时定时器
   A      T      150       // 串联T150常开触点
   =      M      140.3    WL_RUN_10MS_TIMER
// 延时10ms后加计数器C3开始工作
   A      M      140.0    WHEELSP_RUN
   A      M      140.1    WHEELSP_1R_TIME
   A      M      140.3    WL_RUN_10MS_TIMER
   CU     C      3         // 加计数器C3
// 延时10ms后加计数器C3开始工作
   A      M      140.1    WHEELSP_1R_TIME
   L      C      3         // 装入C3的当前值
   L      100              // 装入100
   *I                      // 取其整数相乘

   L      2          // 装入2
   /I                // 以其整数相除
   T      DB136.DBD  136  // 送至NC的R34
// 电动机不转或速度检测后复位加计数器C3
   A(
   ON     M      140.0   WHEELSP_RUN
   O      M      140.6   WHEELSP_PULSE
   )
   R      C      3    // 复位加计数器C3

程序段4：砂轮主轴转1r用时(设定时间)
// 以秒为单位计算砂轮主轴转1r用时
   A      M      80.1    const1   // 逻辑1
   L      6.000000e+001      // 装入60
   L      DB136.DBD  128     // 装入R32
   /R
   T      MD    614      WL_1R_SETIME_S
// 以毫秒为单位计算砂轮主轴转1r用时
   L      MD    614      WL_1R_SETIME_S
   L      1.000000e+003      // 装入1000
   *R                        // 乘法运算
   T      MD    618      WL_1R_SETIME_MS
// 毫秒为单位的1r用时四舍五入取整
   L      MD    618      WL_1R_SETIME_MS
   RND           // 浮点数四舍五入为双整数
   T      DB136.DBD  140  // 送至NC的R35
```

图 2-30 PF6－S2500 数控磨床砂轮主轴速度控制的 PLC 程序

（2）611D 驱动系统中伺服进给的控制过程（见图 2-31） PF6－S2500 数控磨床的伺服进给包括机床工作台（*Z* 轴）的横向往复移动、砂轮架（*X* 轴）的纵向前进/后退和头架（工件轴）的旋转运动三块内容，其中 *X*、*Z* 伺服轴采用 1FK7083－5AF71－1AG2 同步电动机作为执行元件，工件轴采用 1FK7103－5AC71－1AA2 同步电动机作为执行元件。同时 *X*、*Z* 轴和工件轴电动机的旋转均由 SIMODRIVE 611D 驱动系统中的双轴功率模块（与功率模块有关的机床数据 MD13030 $MN_DRIVE_MODULE_TYPE［n］被设定为 2，n＝1/2）进行控制，其控制信号来自于 840D 系统 NCU 模块插补后的位置和速度指令，而 611D 各模块的使能控制和各伺服电动机的运行监控以及异常报警等则通过 SIMATIC S7－300 的一块接口模块 IM361 和三块 32 点数字量输入模块 SM321 及两块 32 点数字量输出模块 SM322 传输至 840D 系统的内置 PLC 中进行顺序逻辑控制。611D 驱动系统控制下的 *X*、*Z* 轴和工件轴不仅可以在 AUTO 或 MDA 方式下实现伺服进给，还可以在 JOG 方式下利用 MCP483C 或 Mini HHU 上的轴选择按键/旋钮、［＋］键和［－］键等实现单轴移动。

1）MCP483C 的控制：在 SINUMERIK 系统中，其内置 PLC 为铣床版和车床版的标准型机床控制面板（MCP 的版本和型号不同，其 I/O 信号地址也不尽相同），它不仅分配了固定的输入信号地址（I），以用于机床运行方式切换、坐标轴选择、移动方向控制和速度倍率修调控制及钥匙开关位选择等按键/旋钮响应信号的过程映像输入，还给定了固定的输出信号地址（Q），以控制发光二极管的点亮，进而达到提示操作者当前按键响应信号有效的目的。PF6－S2500 数控磨床所配置的机床控制面板 MCP483C 的 I/O 信号地址分配如图 2-31 所示，其 PLC 控制程序如图 2-32 所示。

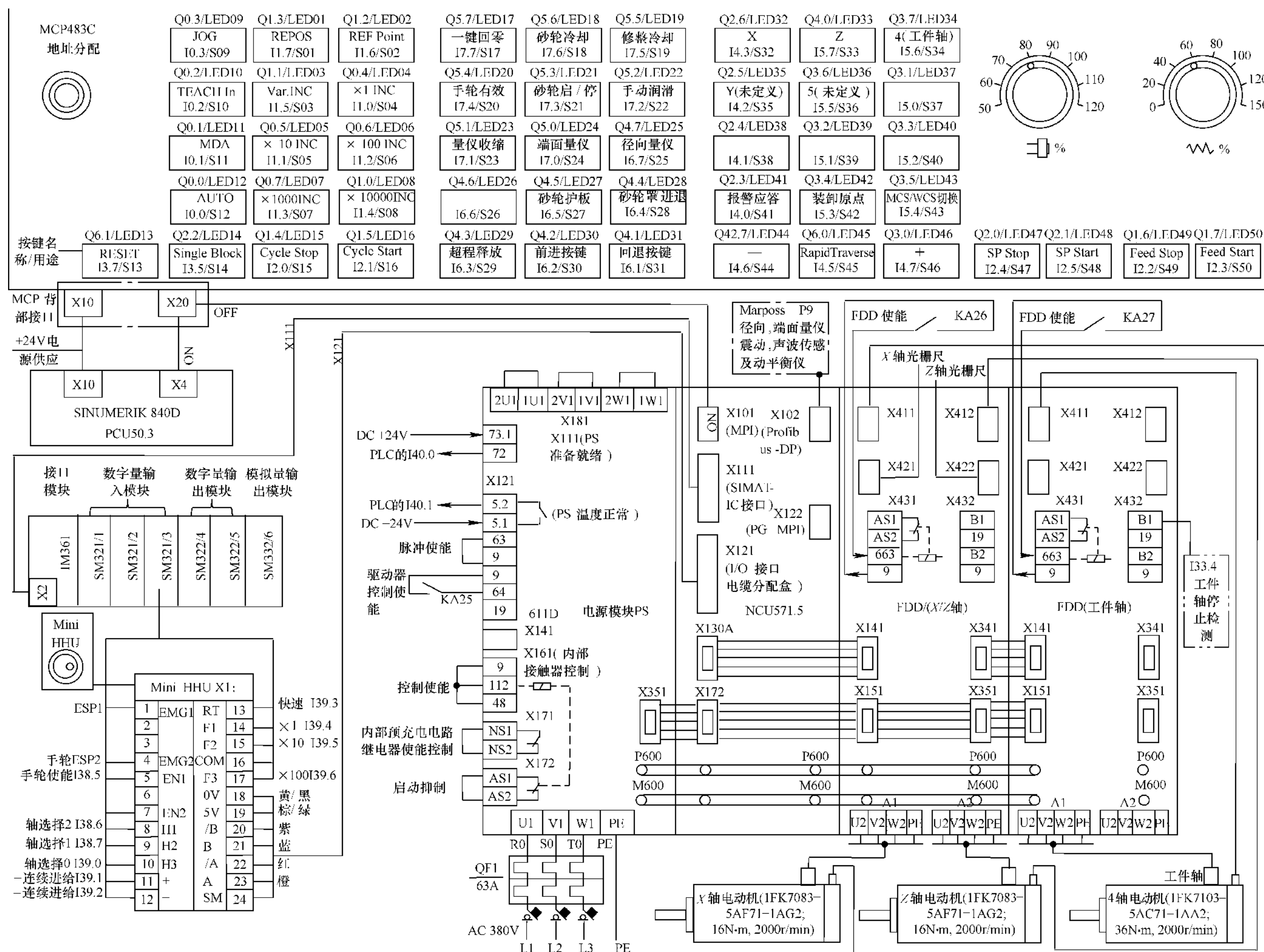


图 2-31　611D 驱动系统在 PF6－S2500 数控磨床上的应用连接

注：Q□. □为按键指示灯的 PLC 输出信号，I□. □为按键的 PLC 输入信号，□表示数字。

```
PF6-S2500数控磨床/OB1"ZYKLUS"
程序段6：调用标准型MCP
   CALL FC    19
     BAGNo       :=B#16#1      // 16进制字节的模式组1(输入)
     ChanNo      :=B#16#1      // 16进制字节的通道数1(输入)
     SpindleIFNo :=B#16#3      // 将第3轴(工件轴)设为主轴(输入)
     FeedHold    :=M100.0      // 禁止进给的接口信号(输出)
     SpindleHold :=M100.1      // 主轴停止进给的接口信号(输出)

PF6-S2500数控磨床/FC101"机床控制面板PLC-NCK"
程序段1：PLC向NCK传送停止进给信号和主轴停止信号
 // 按[Feed Stop]键或压下急停按钮时PLC向NCK传送停止进给信号
     O     M      100.0          // 并联M100.0的常开触点
     ON    I       32.3          // 并联I32.3的常闭触点
     =     DB21.DBX    6.0       // 赋值为1状态并输出至NCK
 // 按[SP Stop]键或压下急停按钮时PLC向NCK传送主轴停止信号
     O     M      100.1          // 并联M100.1的常开触点
     ON    I       32.3          // 并联I32.3的常闭触点
     =     DB34.DBX    4.3       // 赋值为1状态并输出至NCK
```

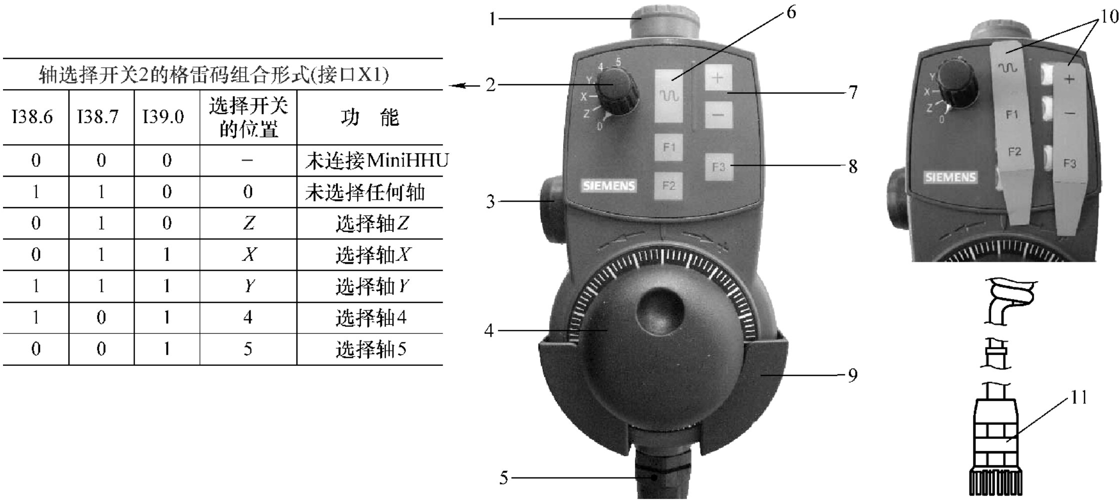
```
PF6-S2500数控磨床/OB100"NEUSTART"
程序段1：调用功能块FB1以实现PLC和NCK的同步暖启动
   CALL "RUN_UP", "gp_par"   FB1/DB7
     MCP1NUM      :=1              // 机床控制面板MCP的数量为1块
     MCP1In       :=P#I 0.0        // 第1块MCP的输入起始地址为I0.0
     MCP1OUT      :=P#Q 0.0        // 第1块MCP的输出起始地址为Q0.0
     MCP1StatSend :=P#Q 8.0        // 第1块MCP发送状态双字
     MCP1StatRec  :=P#Q 12.0       // 第1块MCP接收状态双字
     MCP1BusAdr   :=6              // 第1块MCP的MPI总线地址
     MCP1Timeout  :=S5T#700MS      // 第1块MCP循环扫描的监控时间
     MCP1Cycl     :=S5T#200MS      // 第1块MCP循环扫描时间
     MCP2In       :=               // 第2块MCP的输入起始地址为I0.0
     MCP2Out      :=               // 第2块MCP的输出起始地址为Q0.0
     MCP2StatSend :=               // 第2块MCP发送状态双字
     MCP2StatRec  :=               // 第2块MCP接收状态双字
     MCP2BusAdr   :=               // 第2块MCP的MPI总线地址
     MCP2Timeout  :=               // 第2块MCP循环扫描的监控时间
     MCP2Cycl     :=               // 第2块MCP循环扫描时间
     MCPMPI       :=               // 所有MCP经由MPI连接
     MCP1Stop     :=          // =0时传送MCP1的信号，=1时停止传送
     MCP2Stop     :=          // =0时传送MCP2的信号，=1时停止传送
     MCP1NotSend  :=     // =0时发送接收MCP1的信号，=1时接收不发送
     MCP2NotSend  :=     // =0时发送接收MCP2的信号，=1时接收不发送
     ... ... ... ... ... ... ... ...
     ... ... ... ... ... ... ... ...
```

图 2-32 标准型机床控制面板 MCP483C 的 PLC 控制程序

① 当操作者接通机床电源后 PF6 - S2500 数控磨床的 PLC 开始上电并首先执行暖启动组织块 OB100，以将 PLC 的过程映像数据及非保持的存储器位、定时器和计数器复位，而具有保持功能的存储器位、定时器、计数器和所有的数据块被保留原数值。在 OB100 中利用 "CALL FB 1" 语句调用功能块程序 FB1，以实现 PLC 和 NCK 的同步暖启动。

② 当 OB100 执行完毕后，系统将开始周期性地执行循环处理程序 OB1，同时在 OB1 中利用 "CALL FC 19" 语句调用机床控制面板 MCP483C 的功能程序 FC19。然后经由功能程序 FC101 将有关 MCP 的 PLC 处理信号通过接口信号 DB21. DBX6. 0 和 DB34. DBX4. 3 传送至 NCK 中，分别用于 *X/Z* 轴进给的禁止和工件轴停止控制。

2）Mini HHU 的控制：PF6 - S2500 数控磨床经由 NCU571. 5 模块上的 X121 接口和外设电缆分线盒连接了 1 个 Mini HHU（即小型手持单元，见图 2-33），以方便操作者的对刀操作（即标



轴选择开关2的格雷码组合形式(接口X1)				
I38.6	I38.7	I39.0	选择开关的位置	功 能
0	0	0	-	未连接MiniHHU
1	1	0	0	未选择任何轴
0	1	0	*Z*	选择轴*Z*
0	1	1	*X*	选择轴*X*
1	1	1	*Y*	选择轴*Y*
1	0	1	4	选择轴4
0	0	1	5	选择轴5

图 2-33 PF6 - S2500 数控磨床配置的 Mini HHU 外形图

1—急停按钮 2—轴选择开关（5 轴和零位） 3—双通道三步式使能按钮 4—伺服手轮
5—螺旋形连接导线（X1） 6—快速移动按键 7—运行方向键 +/- 8—功能键 F1/F2/F3
9—半圆形保护盖（可选件） 10—匹配按键字的抽拉条 11—带锁紧螺母的 26 针插头

准工件和金刚笔/修整刀分别与砂轮的基准建立）和维修人员的现场调试操作。

当机床处于 JOG 操作方式时，按下 MCP483C 上的［手轮有效］按键 S20（PLC 输入信号为 I7.4，LED20 的输出信号为 Q5.4）后 Mini HHU 被激活。当利用 Mini HHU 上的轴选择开关选择 X、Z 或 4 轴（即被设定为主轴的工件轴）时，OP010 的显示器上会出现“700037 Mini 手轮使用中”提示信息，且 MCP483C 上分别对应于 X、Z、4 轴的按键指示灯 LED32、LED33 和 LED34 将点亮以表明机床坐标轴的当前激活状态。当按住 Mini HHU 左侧黑色［手轮使能］按钮时，分别按下 Mini HHU 上的［⋀⋁⋀/］、［+］或［-］按键，可使被选择的 $X/Z/4$ 轴按照机床参数设定的速度手动运行。当按住 Mini HHU 左侧黑色［手轮使能］按钮时，分别按下 Mini HHU 上的功能键 F1、F2 或 F3，可对应选择手轮倍率 ×1、×10 和 ×100，且 MCP483C 上分别对应于 F1、F2、F3 的按键指示灯 LED04、LED05 和 LED06 将点亮以表明机床坐标轴的当前移动倍率值。关于 Mini HHU 上各按键动作的顺序逻辑控制，如图 2-34 所示。

```
PF6－S2500数控磨床/OB1“ZYKLUS”

程序段9：Mini手轮选择1
    A     I       7.4        //串联[手轮有效]按键I7.4的常开触点
    FP    M       105.0      //手轮脉冲1的上升沿检测
    =     M       105.1      //为手轮脉冲2赋值并输出
程序段10：Mini手轮选择1
    A(                       //逻辑与嵌套开始
    A     M       105.1      //串联手轮脉冲2的常开触点
    AN    M       105.2      //串联手轮脉冲3的常闭触点
    O                        //逻辑或(并联)
    AN    M       105.1      //串联手轮脉冲2的常闭触点
    A     M       105.2      //串联手轮脉冲3的常开触点
    )                        //逻辑与嵌套结束
    A     DB11.DBX    6.2    //串联JOG操作方式信号
                             //(NCK传送至PLC)的常开触点
    AN    I       0.3        //串联[JOG]按键I0.3的常开触点
    =     M       105.2      //为手轮脉冲3赋值并输出
    =     Q       5.4        //Q5.4=1时[手轮有效]按键的LED20点亮

    AN    Q       5.4        //串联Q5.4(LED20)的常闭触点
    JC    m003               //Q5.4=0时跳转至m003
    A     Q       5.4        //串联Q5.4的常开触点(手轮有效Q5.4=1)
    R     DB10.DBX  100.0    //将手轮1的A相脉冲信号
                             //DB10.DBX100.0(MMC传送至PLC)复位
    R     DB10.DBX  100.1    //将手轮1的B相脉冲信号
                             //DB10.DBX100.1(MMC传送至PLC)复位
m003: NOP   0                //用空操作指令使各位全为0
程序段13：调用Mini手轮子程序FC76
 CALL  FC    76
   main_enable          :=Q5.4       //手轮主使能，MCP上[手轮有效]
                                     //按键灯LED20点亮
   handwheel_enable     :=I38.5      //手轮使能信号输入
   _4_axis_mode         :=TRUE       //第4轴(工件轴)模式激活
   _5_axis_mode         :=TRUE       //第5轴模式激活
   enable_key           :=I38.5      //手轮使能信号输入(左侧按钮3)
   axis_bit_2           :=I38.6      //手轮上的轴选择2脉冲输入信号
   axis_bit_1           :=I38.7      //手轮上的轴选择1脉冲输入信号
   axis_bit_0           :=I39.0      //手轮上的轴选择0脉冲输入信号
   rapid_traverse_key   :=I39.3      //手轮上快速移动按键信号输入
   plus_key             :=I39.1      //手轮上[+]按键的信号输入
   minus_key            :=I39.2      //手轮上[-]按键的信号输入
   feed_rate_1          :=4          //无快速的进给倍率修调值
                                     //为4(16位十进制常数)
   feed_rate_2          :=14         //有快速的进给倍率修调值
                                     //为14(16位十进制常数)
   axis_Z               :=I5.7       //MCP上[Z]按键S33的信号输入
   axis_X               :=I4.3       //MCP上[X]按键S32的信号输入
   axis_Y               :=I4.2       //MCP上[Y]按键S35的信号输入
   axis_4               :=I5.6       //MCP上[4]按键S34的信号输入
   axis_5               :=I5.5       //MCP上[5]按键S36的信号输入
   alarm_1              :=DB2.DBX184.5   //PLC传送至MMC的报警提示：
                                         //700037Mini手轮使用中
   alarm_2              :=DB2.DBX184.6   //PLC传送至MMC的报警提示：
                                         //700038Mini手轮未连接
程序段14：调用Mini手轮子程序FC77(F1,F2和F3按键的处理)
 CALL  FC    77

PF6－S2500数控磨床/FC76“Mini手轮子程序”
 程序段1：Mini手轮未连接(I38.6=0,I38.7=0,I39.0=0)
    AN    #axis_bit_2              //串联轴选择2脉冲的常闭触点
    AN    #axis_bit_1              //串联轴选择1脉冲的常闭触点
    AN    #axis_bit_0              //串联轴选择0脉冲的常闭触点
    =     #no_MiniHHU              //Mini手轮未连接的辅助线圈
 程序段2：I38.6,I38.7和I39.0均为0时向MMC传送“手轮未连接”报警
    A     #no_MiniHHU   //串联Mini手轮未连接辅助线圈的常开触点
    =     #alarm_2      //PLC to MMC的“Mini手轮未连接”报警提示；
 程序段3：I38.6=1,I38.7=1,I39.0=0时轴选择开关为0状态(手轮关闭)
    A     #axis_bit_2              //串联轴选择2脉冲的常开触点
    A     #axis_bit_1              //串联轴选择1脉冲的常开触点
    AN    #axis_bit_0              //串联轴选择0脉冲的常闭触点
    =     #step_0          //为#step_0(Mini手轮处于0状态)赋值
 程序段4：手轮未连接、0状态(关闭)或主使能无效时手轮报警被复位
    O     #no_MiniHHU     //并联手轮未连接辅助线圈的常开触点
    O     #step_0         //并联#step_0(手轮为0状态)的常开触点
    ON    #main_enable    //并联手轮主使能(LED20点亮)常闭触点
    =     #reset          //为#reset(所有DB数据块复位)赋值
    R     #alarm_1        //Mini手轮使用中的提示被复位为0并保持
    JC    Ende            //RLO=1时跳转至Ende(FC76的程序段36)
```

```
PF6－S2500数控磨床/FC76“Mini手轮子程序”

程序段5：手轮已连接且打开(轴选择开关不在0状态)时MiniHHU准备好
    AN    #no_MiniHHU         //串联Mini手轮未连接辅助线圈的常闭触点
    AN    #step_0             //串联#step_0(手轮处于0状态)的常闭触点
    =     #MiniHHU_ready      //为#MiniHHU_ready(手轮准备好)赋值
程序段6：限定手轮使能键(I38.5)5min内有效
    A     #enable_key          //串联手轮使能输入信号I38.5的常开触点
    A     #main_enable         //串联手轮主使能(LED20点亮)的常开触点
    L     S5T#5M               //预制值5min送入ACCU1，可改为T#5M
    SP    T      100           //启动T100
    NOP   0                    //空操作指令(16个0)
    NOP   0
    NOP   0
    A     T      100           //串联T100的常开触点
    =     #limit_enable_key    //为使能键5min内有效的辅助线圈赋值
程序段7：手轮倍率修调的控制
    O     #plus_key            //并联手轮上[+]按键的常开触点
    O     #minus_key           //并联手轮上[-]按键的常开触点
    S     DB11.DBX    0.2 //JOG操作方式(PLC传送至NCK)置位为1并保持
    ON    #limit_enable_key            //并联手轮使能键5min内有效
                                       //辅助线圈的常闭触点
    O     #step_0              //并联#step_0(手轮处于0状态)的常闭触点
    JC    m000                 //RLO=1时跳转至m000(FC76的程序段8)
    A     #rapid_traverse_key         //串联手轮快速移动按键的常开触点
    JC    m001                        //RLO=1时跳转至m001
    L     #feed_rate_1                //预置值4送入ACCU1
    JC    m002                        //RLO=1时跳转至m002
m001: L   #feed_rate_2      //预置值14送入ACCU1，原预置值4送入ACCU2
m002: T   DB31.DBB    0   //将ACCU1内的倍率修调值送至目的存储区(X)
      T   DB32.DBB    0   //将ACCU1内的倍率修调值送至目的存储区(Z)
//    T   DB33.DBB    0   //将ACCU1内的倍率修调值送至目的存储区(Y)
      T   DB34.DBB    0   //将ACCU1内的倍率修调值送至目的存储区(4)
//    T   DB35.DBB    0   //将ACCU1内的倍率修调值送至目的存储区(5)
程序段8：当轴选择激活信号和轴选择有效信号为0时MiniHHU未被激活
m000: NOP   0                  //空操作指令(16个0)
      AN    DB31.DBX    4.0 //串联X轴选择激活(PLC传送至NCK)的常闭触点
      AN    DB32.DBX    4.0 //串联Z轴选择激活(PLC传送至NCK)的常闭触点
//    AN    DB33.DBX    4.0 //串联Y轴选择激活(PLC传送至NCK)的常闭触点
      AN    DB34.DBX    4.0 //串联4轴选择激活(PLC传送至NCK)的常闭触点
//    AN    DB35.DBX    4.0 //串联5轴选择激活(PLC传送至NCK)的常闭触点
      AN    DB31.DBX   64.0 //串联X轴选择有效(NCK传送至PLC)的常闭触点
      AN    DB32.DBX   64.0 //串联Z轴选择有效(NCK传送至PLC)的常闭触点
//    AN    DB33.DBX   64.0 //串联Y轴选择有效(NCK传送至PLC)的常闭触点
      AN    DB34.DBX   64.0 //串联4轴选择有效(NCK传送至PLC)的常闭触点
//    AN    DB35.DBX   64.0 //串联5轴选择有效(NCK传送至PLC)的常闭触点
      =     #not_handwheel  //为MiniHHU未被激活的辅助线圈赋值
程序段9：手轮使能有效且[+]、[-]按键未激活时手轮准备好
    A(                              //逻辑与嵌套开始
    O     #limit_enable_key    //并联手轮使能键5min有效线圈常开触点
    O     #handwheel_enable    //并联手轮使能输入信号I38.5的常开触点
    )                               //逻辑与嵌套结束
    AN    #plus_key                 //串联手轮上[+]按键的常闭触点
    AN    #minus_key                //串联手轮上[-]按键的常开触点
    =     #handwheel_ready     //为手轮准备好的辅助线圈赋值
程序段10：手轮未准备好，使能无效且[+]/[-]按键激活时跳转至HAND
    AN    #handwheel_enable      //串联手轮准备好线圈的常闭触点
    AN    #enable_key          //串联手轮使能输入信号I38.5的常闭触点
    O     #plus_key            //并联手轮上[+]按键的常开触点
    O     #minus_key           //并联手轮上[-]按键的常开触点
    JC    HAND                 //RLO=1时跳转至HAND(FC76的程序段13)
程序段11：手轮使能有效且快移无效时各轴的INC1信号将被激活
    A     #handwheel_enable      //串联手轮准备好线圈的常开触点
    AN    #rapid_traverse_key         //串联手轮快速移动按键的常闭触点

    =     DB31.DBX    5.0  //为进给轴X的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB21.DBX   13.0  //为几何轴X的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB32.DBX    5.0  //为进给轴Z的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
          DB21.DBX   17.0  //为几何轴Z的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB33.DBX    5.0  //为进给轴Y的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB21.DBX   21.0  //为几何轴Y的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB34.DBX    5.0  //为工件轴4的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB35.DBX    5.0  //为进给轴5的INC1(PLC传送至NCK)信号赋值
程序段12：手轮使能有效且快移有效时各轴的INC10信号将被激活
    A     #handwheel_enable     //串联手轮准备好线圈的常开触点
    A     #rapid_traverse_key   //串联手轮快速移动按键的常开触点
    =     DB31.DBX    5.1 //为进给轴X的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB21.DBX   13.1 //为几何轴X的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
    =     DB32.DBX    5.1 //为进给轴Z的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
```

图 2-34　PF6－S2500 数控磨床上 Mini HHU 的 PLC 控制程序

```
PF6 - S2500 数控磨床 /FC76 "Mini 手轮子程序"
程序段 12： 手轮使能有效且快移有效时各轴的 INC10 信号将被激活
          DB21.DBX  17.1   //为几何轴Z的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
  =       DB33.DBX   5.1   //为进给轴Y的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
  =       DB21.DBX  21.1   //为几何轴Y的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
  =       DB34.DBX   5.1   //为工作轴4的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
  =       DB35.DBX   5.1   //为工作轴5的INC10(PLC传送至NCK)信号赋值
程序段 13： I38.6=0,I38.7=1,I39.0=0时轴选择开关为Z状态(步进激活)
HAND: AN  #axis_bit_2      //串联轴选择 2脉冲的常闭触点
  A       #axis_bit_1      //串联轴选择 1脉冲的常开触点
  AN      #axis_bit_0      //串联轴选择 0脉冲的常闭触点
  S       #axis_Z          //MCP上[Z]按键信号 I5.7 置位为 1并保持
  R       #axis_X          //MCP上[X]按键信号 I4.3 复位为 0并保持
  R       #axis_Y          //MCP上[Y]按键信号 I4.2 复位为 0并保持
  R       #axis_4          //MCP上[4] 按键信号 I5.6 复位为 0并保持
  R       #axis_5          //MCP上[5] 按键信号 I5.5 复位为 0并保持
  =       #step_Z          //为Mini 手轮的Z轴步进辅助线圈赋值
程序段 14： I38.6=0,I38.7=1,I39.0=1 时轴选择开关为X状态(步进激活)
  AN      #axis_bit_2      //串联轴选择2脉冲的常闭触点
  A       #axis_bit_1      //串联轴选择1脉冲的常开触点
  A       #axis_bit_0      //串联轴选择 0脉冲的常开触点
  R       #axis_Z          //MCP上[Z]按键信号I5.7复位为 0并保持
  S       #axis_X          //MCP上[X]按键信号I4.3置位为 1并保持
  R       #axis_Y          //MCP上[Y]按键信号I4.2复位为 0并保持
  R       #axis_4          //MCP上[4] 按键信号I5.6复位为 0并保持
  R       #axis_5          //MCP上[5] 按键信号I5.5复位为 0并保持
  =       #step_X          //为Mini 手轮的X轴步进辅助线圈赋值
程序段 15： I38.6=1,I38.7=1,I39.0=1 时轴选择开关为Y状态(步进激活)
  A       #axis_bit_2      //串联轴选择 2脉冲的常开触点
  A       #axis_bit_1      //串联轴选择 1脉冲的常开触点
  A       #axis_bit_0      //串联轴选择 0脉冲的常开触点
  R       #axis_Z          //MCP上[Z]按键信号 I5.7 复位为 0并保持
  R       #axis_X          //MCP上[X]按键信号 I4.3 复位为 0并保持
  S       #axis_Y          //MCP上[Y]按键信号 I4.2 置位为 1并保持
  R       #axis_4          //MCP上[4] 按键信号 I5.6 复位为 0并保持
  R       #axis_5          //MCP上[5] 按键信号 I5.5 复位为 0并保持
  =       #step_Y          //为Mini 手轮的Y轴步进辅助线圈赋值
程序段16： I38.6=1,I38.7=0,I39.0=1 时轴选择开关为4状态(步进激活)
  A(                       //逻辑与嵌套开始
  O       #_4_axis_mode    //并联第 4轴模式激活的常开触点
  O       #_5_axis_mode    //并联第 5轴模式激活的常开触点
  )                        //逻辑与嵌套结束
  A       #axis_bit_2      //串联轴选择2脉冲的常开触点
  AN      #axis_bit_1      //串联轴选择1脉冲的常闭触点
  A       #axis_bit_0      //串联轴选择0脉冲的常开触点
  R       #axis_Z          //MCP上[Z]按键信号I5.7复位为0并保持
  R       #axis_X          //MCP上[X]按键信号I4.3 复位为0并保持
  R       #axis_Y          //MCP上[Y]按键信号I4.2 复位为0并保持
  S       #axis_4          //MCP上[4] 按键信号I5.6置位为1并保持
  R       #axis_5          //MCP上[5] 按键信号I5.5 复位为0并保持
  =       #step_4          //为Mini 手轮的 4轴步进辅助线圈赋值
程序段 17： I38.6=0,I38.7=0,I39.0=1 时轴选择开关为5状态(步进激活)
  A       #_5_axis_mode    //串联第5轴模式激活的常开触点
  AN      #axis_bit_2      //串联轴选择 2脉冲的常闭触点
  AN      #axis_bit_1      //串联轴选择 1脉冲的常闭触点
  A       #axis_bit_0      //串联轴选择 0脉冲的常开触点
  R       #axis_Z          //MCP上[Z]按键信号I5.7复位为0并保持
  R       #axis_X          //MCP上[X]按键信号I4.3复位为0并保持
  R       #axis_Y          //MCP上[Y]按键信号I4.2复位为0并保持
  R       #axis_4          //MCP上[4] 按键信号I5.6复位为0并保持
  S       #axis_5          //MCP上[5] 按键信号I5.5置位为1并保持
          #step_5          //为 Mini 手轮的 5轴步进辅助线圈赋值
程序段 18： 报警提示：  700037 Mini 手轮使用中
  A(                       //逻辑与嵌套开始
  O   #axis_X              //并联 Mini 手轮X轴步进激活线圈的常开触点
  O   #axis_Y              //并联 Mini 手轮Y轴步进激活线圈的常开触点
  O   #axis_Z              //并联 Mini 手轮Z轴步进激活线圈的常开触点
  O   #axis_4              //并联 Mini 手轮4 轴步进激活线圈的常开触点
  O   #axis_5              //并联 Mini 手轮5 轴步进激活线圈的常开触点
  )                        //逻辑与嵌套结束
  A   #MiniHHU_ready       //串联#MiniHHU_ready 的常开触点
  =   #   alarm_1          //为#alarm_1(700037Mini 手轮使用中)赋值
程序段 19： 手轮准备好且Z轴为步进状态时向 NCK 传送Z轴选择激活信号
  A       #handwheel_ready     //串联手轮准备好线圈的常开触点
  A       #step_Z              //串联手轮 Z轴步进激活线圈的常开触点
  =       DB32.DBX    4.0      //手轮Z轴选择激活(PLCtoNCK) 信号赋值
```

```
PF6  S2500 数控磨床 /FC76 "Mini 手轮子程序"
程序段 20： 手轮准备好且X 轴为步进状态时向NCK 传送 X 轴选择激活信号
  A     #handwheel_ready       //串联手轮准备好线圈的常开触点
  A     #step_X                //串联Mini 手轮X轴步进激活线圈的常开触点
  =     DB31.DBX    4.0        //为手轮X轴选择激活(PLC 传送至 NCK) 信号赋值
程序段 21： 手轮准备好且Y 轴为步进状态时向NCK传送 Y 轴选择激活信号
  A     #handwheel_ready       //串联手轮准备好线圈的常开触点
  A     #step_Y                //串联Mini 手轮Y轴 步进激活线圈的常开触点
  =     DB33.DBX    4.0        //为手轮 Y轴 选择激活(PLC传送至 NCK) 信号赋值
程序段 22： 手轮准备好且4轴为步进状态时向 NCK 传送4轴选择激活信号
  A     #handwheel_ready       //串联手轮准备好线圈的常开触点
  A     #step_4                //串联 Mini 手轮4轴步进激活线圈的常开触点
  =     DB34.DBX    4.0        //为手轮 4轴选择激活(PLC传送至 NCK) 信号赋值
程序段 23： 手轮准备好且5轴为步进状态时向 NCK 传送5轴选择激活信号
  A     #handwheel_ready       //串联手轮准备好线圈的常开触点
  A     #step_5                //串联Mini 手轮 5轴步进激活线圈的常开触点
  =     DB35.DBX    4.0        //为手轮 5轴选择激活(PLC 传送至NCK)信号赋值
程序段 24： 手轮使能键和 [+] 按键有效且手轮未激活时 [ ] 按键使能线圈得电
  A   #limit_enable_key        //串联手轮使能键 5min 有效线圈常开触点
  A   #plus_key                //串联手轮上 [+] 按键的常开触点
  A   #not_handwheel           //串联MiniHHU未激活线圈的常开触点
  =     #plus_key_enable       //为手轮上 [+] 按键使能辅助线圈赋值
程序段 25： 手轮使能键和[-]按键有效且手轮未激活时[ ]按键使能线圈得电
  A     #limit_enable_key      串联手轮使能键 5min 有效线圈常开触点
  A     #minus_key               并联手轮上 [  ]按键的常开触点
  A     #not_handwheel           串联MiniHHU 未激活线圈的常开触点
  =     #minus_key_enable        为手轮上 [-]按键使能辅助线圈赋值
程序段 26： 手轮X轴和[ ]按键使能有效时向 NCK 传送 X 轴[+]移动键激活信号
  A   #plus_key_enable         //串联手轮上[-] 按键使能线圈的常开触点
  A   #step_X                  //串联Mini 手轮 X轴步进线圈的常开触点
  =     DB31.DBX    4.7        //手轮X轴[-] 移动键信号 ( PLCtoNCK) 赋值
程序段 27： 手轮X轴和[-]按键使能有效时向 NCK 传送X轴[-]移动键激活信号
  A     #minus_key_enable      //串联手轮 [-] 按键使能线圈的常开触点
  A     #step_X                //串联Mini 手轮 X 轴步进线圈的常开触点
  =     DB31.DBX   4.6         //手轮X轴[-] 移动键信号(PLC传送至 NCK)赋值
程序段28： 手轮Y轴 和[+] 按键使能有效时向 NCK 传送Y 轴[-] 移动键激活信号
  A     #plus_key_enable       //串联手轮上 [ ] 按键使能线圈的常开触点
  A     #step_Y                //串联 Mini 手轮Y轴 步进线圈的常开触点
        DB33.DBX   4.7         //手轮Y轴 [-] 移动键信号(PLC传送至NCK)赋值
程序段 29： 手轮 Y轴 和[-]按键使能有效时向 NCK传送 Y 轴[-] 移动键激活信号
  A     #minus_key_enable      //串联手轮上[-]按键使能线圈的常开触点
  A     #step_Y                //串联Mini 手轮 Y 轴步进线圈的常开触点
  =     DB33.DBX    4.6        //手轮Y轴 [-] 移动键信号(PLC传送至NCK)赋值
程序段 30： 手轮Z轴 和[+] 按键使能有效时向 NCK传送 Z轴[ ]移动键激活信号
  A     #plus_key_enable       //串联手轮上 [ ] 按键使能线圈的常开触点
  A     #step_Z                //串联Mini 手轮 Z 轴步进线圈的常开触点
  =     DB32.DBX    4.7        //手轮Z轴[+] 移动键信号 (PLC传送至NCK)赋值
程序段 31： 手轮 Z轴和[-]按键使能有效时向 NCK 传送 Z轴[ ]移动键激活信号
  A     #minus_key_enable      //串联手轮上 [-]按键使能线圈的常开触点
  A     #step_Z                //串联 Mini 手轮 Z 轴步进线圈的常开触点
  =     DB32.DBX    4.6        //手轮Z轴[-]移动键信号(PLC 传送至 NCK) 赋值
程序段 32： 手轮 4轴和[+] 按键使能有效时向NCK传送4轴[+] 移动键激活信号
  A     #plus_key_enable       //串联手轮上[+] 按键使能线圈的常开触点
  A     #step_4                //串联Mini 手轮4轴步进线圈的常开触点
        DB34.DBX   4.7         //手轮 4轴[+] 移动键信号(PLC 传送至 NCK) 赋值
程序段 33： 手轮 4轴和[ ]按键使能有效时向 NCK 传送4轴[-] 移动键激活信号
  A     #minus_key_enable      //串联手轮上 [-]按键使能线圈的常开触点
  A     #step_4                //串联 Mini 手轮 4轴步进线圈的常开触点
        DB34.DBX    4.6        //手轮 4轴[ ]移动键信号(PLC 传送至 NCK)赋值
程序段 34： 手轮 5轴和[+] 按键使能有效时向 NCK 传送5轴[+]移动键激活信号
  A     #plus_key_enable       //串联手轮上 [+] 按键使能线圈的常开触点
  A     #step_5                //串联 Mini 手轮5轴步进线圈的常开触点
        DB35.DBX    4.7        //手轮 5轴[ ]移动键信号(PLC 传送至 NCK)赋值
程序段 35： 手轮 5轴和[ ]按键使能有效时向 NCK 传送5轴[-]移动键激活信号
  A     #minus_key_enable      //串联手轮上 [-]按键使能线圈的常开触点
  A     #step_5                //串联 Mini 手轮 5轴步进线圈的常开触点
  =     DB35.DBX    4.6        //手轮 5轴[-]移动键信号(PLC 传送至 NCK)赋值
程序段 36： 将与 X,Y,Z,4 和5轴相关的手轮激活信号与手轮有效信号复位为0
 Ende:  O(                     //逻辑或嵌套开始
  A     #reset                 //串联#reset(所有 DB 被复位)的常开触点
  FP    M     110.0            //M110.0(use1.mpg) 的上升沿检测
```

```
PF6  S2500数控磨床/FC76 "Mini 手轮子程序"
程序段 36： X,Y,Z,4 和5 轴的手轮激活信号与手轮有效信号复位为0
    )                                //逻辑或嵌套结束
    O(                               //逻辑或嵌套开始
    A     #handwheel_enable          //串联手轮使能信号输入的常开触点
    FN    M     110.1                //M110.1(use2.mpg)的下降沿检测
    )                                //逻辑或嵌套结束
    O(                               //逻辑或嵌套开始
    A     #main_enable               //串手轮主使能 (LED20点亮)常闭触点
    FN    M     110.2                //M110.2(use3.mpg)的下降沿检测
    )                                //逻辑或嵌套结束
    S     DB11.DBX      0.2          //JOG操作方式 ( PLC传送至NCK)信号置位为1
    R     DB31.DBX      4.0          //手轮X轴选择激活(PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB32.DBX      4.0          //手轮Z轴选择激活(PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB33.DBX      4.0          //手轮Y 轴选择激活(PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB34.DBX      4.0          //手轮4轴选择激活(PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB35.DBX      4.0          //手轮5轴选择激活(PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB31.DBX     64.0          //手轮X轴选择有效(NCK传送至PLC)复位为0
    R     DB32.DBX     64.0          //手轮Z轴选择有效(NCK传送至PLC)复位为0
 // R     DB33.DBX     64.0          //手轮Y轴选择有效(NCK传送至PLC)复位为0
    R     DB34.DBX     64.0          //手轮4轴选择有效(NCK传送至PLC)复位为0
 // R     DB35.DBX     64.0          //手轮5轴选择有效(NCK传送至PLC)复位为0
    R     DB31.DBX      4.7          //手轮X轴[+] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB31.DBX      4.6          //手轮X轴[  ]按键 (PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB32.DBX      4.7          //手轮Z轴[+] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB32.DBX      4.6          //手轮Z轴[-] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB33.DBX      4.7          //手轮Y轴[+] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB33.DBX      4.6          //手轮Y轴[-] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB34.DBX      4.7          //手轮4轴[+] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
    R     DB34.DBX      4.6          //手轮4轴[-] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB35.DBX      4.7          //手轮5轴[+] 按键 (PLC传送至NCK)复位为0
 // R     DB35.DBX      4.6          //手轮5轴[  ]按键 (PLC传送至NCK)复位为0
```

```
PF6－S2500数控磨床/FC77 "Mini 手轮子程序1(F1,F2和F3键)"
程序段 1： LED20点亮手轮使能有效且 F1键激活时[×1INC] 键信号 I1.0=1
   A(                          //逻辑与嵌套开始
   A     I      39.4           //串联手轮上 F1 按键 (×1)I39.4 的常开触点
   A     I      38.5           //串联手轮使能按钮I38.5的常开触点
   O     I       1.0           //并联 I1.0 的常开触点以自锁
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     Q       5.4           //串联 Q5.4(手轮有效 LED20点亮)的常开触点
   =     I       1.0           //为[×1INC] 按键信号的输入线圈 I1.0 赋值
程序段 2： LED20点亮手轮使能有效且 F2键激活时[×10INC] 键信号 I1.1=1
   A(                          //逻辑与嵌套开始
   A     I      39.5           //串联手轮上F2按键 (×10) I39.5的常开触点
   A     I      38.5           //串联手轮使能按钮I38.5的常开触点
   O     I       1.1           //并联 I1.1 的常开触点以自锁
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     Q       5.4           //串联 Q5.4(手轮有效 LED20点亮)的常开触点
   =     I       1.1           //为[×10 INC] 按键信号的输入线圈 I1.1 赋值
程序段 3： LED20点亮手轮使能有效且 F3键激活时 [×100INC] 键信号 I1.2=1
   A(                          //逻辑与嵌套开始
   A     I      39.6           //串联手轮上 F3 按键 (×100) I39.6 的常开触点
   A     I      38.5           //串联手轮使能按钮 I38.5的常开触点
   O     I       1.2           //并联 I1.2的常开触点以自锁
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     Q       5.4           //串联 Q5.4(手轮有效 LED20点亮) 的常开触点
   =     I       1.2           //为[×100 INC] 按键信号的输入线圈 I1.2 赋值
程序段 4： 进给倍率0%时复位手轮各轴选择激活信号(PLC传送至NCK)为0
   L     DB21.DBB      4       //装载DB21.DBB4(PLC传送至NCK)的值至 ACCU1
   L     1                     //预置值 1送入 ACCU1，DB21.DBB4的值送ACCU2
   ==I                         //比较 ACCU1=ACCU2 时， RLO=1
   R     DB31.DBX     4.0      //手轮X轴选择激活信号复位为 0并保持
   R     DB32.DBX     4.0      //手轮 Z 轴选择激活信号复位为 0并保持
   R     DB34.DBX     4.0      //手轮4 轴选择激活信号复位为 0并保持
```

图 2-34 PF6－S2500 数控磨床上 Mini HHU 的 PLC 控制程序（续）

3）611D 驱动系统中各模块的使能控制（省略回参考点的控制）：从图 2-31“611D 驱动系统在 PF6－S2500 数控磨床上的应用连接”可知，611D 电源模块 X161 接口的 T48/T9 被短接，X121 接口的 T63/T9 被短接、T64/T9 间串联了继电器 KA25 的常开触点，X121 接口中 T5.2 的输出信号被反馈至 PLC 的 I40.1，X111 接口中 T72 的输出信号被反馈至 PLC 的 I40.0，*X/Z* 轴功率模块和 4 轴功率模块的 X431 接口中 T663/T9 间分别串联了继电器 KA26 和 KA27 的常开触点。当接通机床电源并释放 MCP483C 上的急停按钮（PLC 输入信号 I32.3）时，611D 电源模块的控制使能（T48/T9）直接生效→直流母线预充电电路经压敏电阻后接通直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右）→电源模块的脉冲使能（T63/T9）接通而同时作用于所连接的驱动模块并使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V）→当 PLC 接收到 NCK 传送的 NCK－CPU 就绪信号时其过程映像输出 Q35.0、Q35.1 和 Q35.2 得电→与之对应的继电器 KA25、KA26 和 KA27 线圈得电并使各自的常开触点闭合→611D 电源模块的驱动器控制使能（T64/T9）接通且 *X/Z* 轴功率模块和 4 轴功率模块的脉冲使能（T663/T9）接通→611D 驱动系统被使能启动。

① 伴随着 611D 驱动系统的使能启动→电源模块内部“准备好”继电器的常开触点闭合并经 X111 接口的 T72 向 PLC 反馈 611D 驱动系统就绪信号（I40.0＝1）→同时功率模块 X431 接口中启动抑制端子 AS1/AS2 所串接的常闭触点（即 T663 控制的启动抑制安全继电器的常闭触点）打开而使功率模块的 IGBT 开关使能→611D 驱动系统工作过程中电源模块内部“准备好”继电器和过电流监控继电器（I^2t）对电源模块实时监控→一旦 T73.1/T72 间串联的正处于闭合状态的常开触点断开（I40.0＝0）或 T5.2/T5.1 间串联的正处于闭合状态的常开触点断开（I40.1＝0）时 PLC 便经由接口信号 DB10.DBX56.1 向 NCK 传送急停激活信号而使机床处于急停状态→同时经由接口信号 DB2.DBX182.5 向 MMC 传送“700021：611D 电源模块报警”并在 OP010 的显示器上显示。

② 伴随着 611D 驱动系统的使能启动→NCK 不仅经由接口信号 DB31.DBX93.5 向 PLC 传送 *X* 轴驱动器就绪信号，还经由接口信号 DB32.DBX93.5 向 PLC 传送 *Z* 轴驱动器就绪信号→当 DB31.DBX93.5 或 DB32.DBX93.5 为 0 状态（正常为 1 状态）时 PLC 便经由接口信号 DB2.DBX182.6 向 MMC 传送“700022：611D *X/Z* 功率模块报警”并在 OP010 的显示器上显示。

③ 伴随着 611D 驱动系统的使能启动→NCK 便经由接口信号 DB34.DBX93.5 向 PLC 传送 4 轴（工件主轴）驱动器就绪信号→当 DB34.DBX93.5 为 0 状态（正常为 1 状态）时 PLC 便经由接口信号 DB2.DBX182.7 向 MMC 传送“700023：611D 主轴功率模块报警”并在 OP010 的显示器上显示。

④ 进给轴使能的激活：当 PLC 正确接收 NCK 传送的 *X*、*Z* 轴驱动器就绪信号及进给轴使能按键［FeedStart］对应指示灯 LED50 点亮时，PLC 便经接口信号 DB31.DBX2.1 和 DB32.DBX2.1 向 NCK 分别传送 *X*、*Z* 进给轴控制使能激活信号，同时经接口信号 DB31.DBX21.7 和 DB32.DBX21.7 向 NCK 分别传送 *X*、*Z* 进给轴脉冲使能激活信号。说明：要运行某个进给轴时除激活 DB3＊.DBX2.1 和 DB3＊.DBX21.7 信号外，还需激活与测量系统有关的信号 DB3＊.DBX1.5（半闭环控制的测量系统 1）或 DB3＊.DBX1.6（全闭环控制的测量系统 2），当信号 DB3＊.DBX1.5 和 DB3＊.DBX1.6 同时激活时仅测量系统 1 有效。

⑤ 工件主轴使能的激活：当 PLC 正确接收 NCK 传送的 4 轴驱动器就绪信号以及工件主轴使能按键［SP Start］对应的指示灯 LED48 点亮时，PLC 便经由接口信号 DB34.DBX2.1 和 DB34.DBX21.7 向 NCK 分别传送工件主轴控制使能激活信号和脉冲使能激活信号。注意：对测量系统信号 DB3＊.DBX1.5 或 DB3＊.DBX1.6 的要求，与上述介绍的进给轴相同。

⑥ PF6－S2500 数控磨床配置的 611D 驱动系统中电源模块、*X/Z* 功率模块和 4 轴功率模块使能控制的 PLC 程序，如图 2-35 所示。

PF6－S2500 数控磨床 /FC101 "机床控制面板 PLC－NCK"

程序段 2：释放急停按钮且 NCK－CPU 就绪时 611D 电源模块控制使能 T64OK

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
A    DB10.DBX   104.7    //串联 NCK－CPU 就绪信号
                         //(NCK传送至PLC)的常开触点
=    Q          35.0     //Q35.0=1 时KA25 线圈得电其常开触点闭合
                         //进而 611D 电源模块的驱动器控制使能OK
```

程序段 3：机床急停，电源模块未就绪或过电流时向 NCK 传送急停激活信号

```
ON   I          32.3     //并联急停按钮(I32.3)的常闭触点
ON   I          40.0     //并联电源模块内部(X111接口)
                         //准备好继电器的常闭触点
ON   I          40.1     //并联电源模块过电流报警继电器
                         //(X121接口)的常闭触点
=    DB10.DBX   56.1     //PLC向NCK传送急停激活信号
NOT                      //将RLO取反
=    DB10.DBX   56.2     //RLO=0 时PLC向 NCK 传送急停响应信号
```

程序段 4：PLC向NCK 传送测量系统1、2激活信号

```
AN   DB20.DBX   20.0     //PLC传送至操作者的X轴机床数据
=    DB31.DBX   1.5      //PLC向NCK传送X轴测量系统1激活信号
AN   DB20.DBX   20.1     //PLC传送至操作者的Z轴机床数据
=    DB32.DBX   1.5      //PLC向NCK传送Z轴测量系统1激活信号
AN   DB20.DBX   20.2     //PLC传送至操作者的4轴(主轴)机床数据
=    DB34.DBX   1.5      //PLC向NCK传送4 轴测量系统1激活信号

A    DB20.DBX   20.0     //PLC 传送至操作者的X轴机床数据
=    DB31.DBX   1.6      //PLC向NCK传送X轴测量系统 2激活信号
A    DB20.DBX   20.1     //PLC传送至操作者的 Z轴机床数据
=    DB32.DBX   1.6      //PLC 向NCK 传送Z 轴测量系统 2激活信号
A    DB20.DBX   20.2     //PLC传送至操作者的 4轴(主轴)机床数据
=    DB34.DBX   1.6      //PLC 向 NCK 传送4轴测量系统 2激活信号
```

程序段 6：急停按钮释放且 LED50 亮时向 NCK 传送611D进给轴使能激活信号

```
A    DB31.DBX   93.5     //串联 611D 的X轴驱动器就绪信号
                         //(NCK传送至PLC)的常开触点
A    DB32.DBX   93.5     //串联 611D 的Z轴驱动器就绪信号
                         //(NCK传送至PLC)的常开触点
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
=    M          91.1     //为M91.1(X, Z轴驱动器就绪)辅助线圈赋值

A    Q          1.7      //串联进给轴使能键 [FeedStart]
                         //指示灯 LED50的常开触点
A    M          91.1     //串联 M91.1(X, Z 轴驱动器就绪)的常开触点
=    DB31.DBX   2.1      //PLC 向NCK 传送 X进给轴的611D
                         //控制使能激活信号
=    DB31.DBX   21.7     //PLC向NCK 传送X 进给轴的611D
                         //脉冲使能激活信号
=    DB32.DBX   2.1      //PLC 向 NCK 传送 Z进给轴的611D
                         //控制使能激活信号
=    DB32.DBX   21.7     //PLC 向 NCK 传送 Z进给轴的611D
                         //脉冲使能激活信号
```

程序段 7：急停按钮释放且 LED48亮时向 NCK 传送 611D主轴使能激活信号

```
A    DB34.DBX   93.5     //串联 611D 的4轴驱动器就绪信号
                         //(NCK传送至PLC)的常开触点
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
=    M          91.2     //为M91.2(4轴驱动器就绪)辅助线圈赋值

A    Q          2.1      //串联主轴使能键 [SP Start] 指
                         //示灯 LED48的常开触点
A    M          91.2     //串联 M91.2(4轴驱动器就绪)的常开触点
=    DB34.DBX   2.1      //PLC 向 NCK 传送 4轴(工件主轴)的
                         //611D控制使能激活信号
=    DB34.DBX   21.7     //PLC 向 NCK 传送 4轴(工件主轴)的
                         //611D脉冲使能激活信号
```

PF6－S2500 数控磨床 /FC110 "机床轴接口PLC MA"

程序段 1：释放急停按钮且 NCK CPU 就绪时 X/Z 轴功率模块脉冲使能 OK

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
A    DB10.DBX   104.7    //串联 NCK－CPU 就绪信号
=    Q          35.1     //Q35.1=1 时 KA26 线圈得电其常开触点闭合,
                         //进而 611D X/Z 轴功率模块的脉冲使能 OK
```

程序段 2：释放急停按钮且NCK－CPU 就绪时4轴功率模块脉冲使能 T663OK

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)常开触点
A    DB10.DBX   104.7    //串联 NCK－CPU 就绪信号
=    Q          35.2     //Q35.2=1 时KA27线圈得电常开触点闭合,
                         //611D工件轴功率模块的脉冲使能 OK
```

PF6－S2500 数控磨床 /FC110 "机床轴接口PLC MA"

程序段 3：PLC向NCK 传送在位置1处重新同步主轴激活信号

```
O    DB34.DBX   61.5     //并联4 轴位置控制器有效信号
                         //(NCK传送至PLC)的常开触点
O    M          80.1     //并联 M80.1(逻辑 1)常开触点
=    DB34.DBX   17.4     //PLC 向 NCK 传送在位置 1 处重新
                         //同步主轴激活信号
```

程序段 4：当Z轴坐标值大于 －1500 或小于 －2370 时X轴负向 JOG 进给被锁定

```
L    DB136.DBD  100      //装载 DB136.DBD100(R参数
                         //数据)中浮点数至 ACCU1
L    -1.500000e+003      //将Z轴坐标的 -1500 装载至 ACCU1,
                         //原ACCU1中的值保存至ACCU2
>R                       //比较 ACCU2 > ACCU1(Z 轴坐标值大于 1500) 时RLO=1
=    M          97.1     //为 M97.1(Z轴坐标值大于 1500) 赋值

L    DB136.DBD  100      //装载 DB136.DBD100中浮点数至 ACCU1
L    -2.370000e+003      //将Z轴坐标的 -2370 装载至 ACCU1,
                         //原ACCU1中的值保存至 ACCU2
<R                       //比较 ACCU2 < ACCU1(Z 轴坐标值小于 -2370) 时RLO=1
=    M          97.2     //为M97.2(Z轴坐标值小于 -2370) 赋值

A(                       //逻辑与嵌套1开始
O(                       //逻辑或嵌套2开始
A    DB31.DBX   64.6     //串联X轴负向进给命令(NCK传送至PLC)
                         //有效信号的常开触点
A(                       //逻辑与嵌套3开始
A(                       //逻辑与嵌套4开始
O    M          97.1     //并联 M97.1(Z轴坐标值大于 -1500)常开触点
O    M          97.2     //并联 M97.2(Z轴坐标值小于 -2370)常开触点
)                        //逻辑与嵌套 4结束
A    DB11.DBX   6.2      //串联 JOG操作方式有效(NCK传送至PLC)
                         //信号的常开触点
AN   DB2.DBX    184.5    //串联 700037 报警"Mini 手轮使用中"
                         //信号(PLC传送至MMC)的常闭触点
)                        //逻辑与嵌套 3结束
)                        //逻辑或嵌套 2结束
O    M          97.0     //并联 M97.0的常开触点以进行自锁
)                        //逻辑与嵌套 1开结束
AN   DB31.DBX   64.7     //串联 X 轴正向进给命令(NCK传送至PLC)
                         //有效信号的常闭触点
A    M          100.2    //串联 M100.0 的常闭触点
=    M          97.0     //为 M97.0(X 轴进给停止)赋值

A    M          97.0     //串联 M97.0 的常开触点
=    DB31.DBX   4.3      //PLC向 NCK 传送 X 轴负向进给停止激活信号
```

PF6－S2500 数控磨床 /FC131 "机床报警 PLC－NCK"

程序段 22：I40.0=0 或I40.1=0 时PLC 向 MMC 传送 700021:611D电源模块报警

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
A(                       //逻辑与嵌套开始
ON   I          40.0     //并联电源模块内准备好继电器常闭触点
ON   I          40.1     //并联电源模块过电流报警继电器常闭触点
)                        //逻辑与嵌套结束
L    S5T#1S              //预置值 1s送入 ACCU1
SD   T          113      //接通延迟定时器 T113 的线圈

A    T          113      //串联延迟定时器 T113的常开触点
=    DB2.DBX    182.5    //向MMC 传送"700021:611D 电源模块报警"
```

程序段 23：驱动器就绪信号为 0时向 MMC 传送 700022:611D X/Z 轴功率模块报警

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
A    I          40.0     //串联电源模块内准备好继电器常开触点
A(                       //逻辑与嵌套开始
ON   DB31.DBX   93.5     //并联X轴驱动器就绪信号(NCK传送至PLC)常闭触点
ON   DB32.DBX   93.5     //并联Z轴驱动器就绪信号(NCK传送至PLC)常闭触点
)                        //逻辑与嵌套结束
L    S5T#1S              //预置值 1s送入 ACCU1
SD   T          114      //接通延迟定时器 T114的线圈

A    T          114      //串联延迟定时器 T114的常开触点
=    DB2.DBX    182.6    //向MMC 传送"700022:611D X/Z 轴功率模块报警"
```

程序段 24：4轴驱动器就绪信号为 0时向 MMC 传送 700023：主轴功率模块报警

```
A    I          32.3     //串联急停按钮(I32.3) 的常开触点
A    I          40.0     //串联电源模块内准备好继电器常开触点
AN   DB34.DBX   93.5     //串连4轴(工件主轴)驱动器就绪信号
                         //(NCK传送至PLC)常闭触点
=    DB2.DBX    182.7    //PLC 向 MMC 传送"700023:611D主轴
                         //功率模块报警"
```

图 2-35　PF6－S2500 数控磨床配置的611D 驱动系统中各模块使能控制的 PLC 程序

4）611D 驱动系统中工件主轴的控制：在 PF6 – S2500 数控磨床上，被磨削工件的旋转必须配合磨削砂轮的恒线速旋转才能完成整个磨削过程，为此可将以 1FK7103 – 5AC71 – 1AA2 同步电动机为执行元件的第 4 轴（即工件轴）指定为主轴，指定过程是通过设定相关机床数据完成的（见表 2-5）。当无程序运行时，可利用机床操作防护门侧面的红色［手动主轴］按钮实现工件轴的手动正向旋转及 JOG 操作方式的自动切换。还可在 AUTO 或 MDA 方式下利用程序段 S＊＊M03（或 S＊＊M04，＊表示数字）和 MCP483C 上［CycleStart］按键 S16 的激活来实现工件轴的自动正向旋转（或负向旋转）以及利用程序指令 M19 控制工件轴的定向准停。

表 2-5　PF6 – S2500 数控磨床工件主轴的机床数据设定

机床数据		机床数据说明	设定值
			AX3（工件主轴）
MD30130	CTRLOUT_TYPE	控制给定输出类型，MD30130 = 0 且 MD30240 = 0 时该轴为仿真轴	1
MD30240	ENC_TYPE	编码器类型为高分辨率的原信号发生器	1
MD30300	IS_ROT_AX	设定为旋转轴	1
MD30310	ROT_IS_MODULO	具有模数属性的旋转轴（即模态旋转轴编程）	1
MD30320	DISPLAY_IS_MODULO	旋转轴和主轴的系数 360°显示（参考角度）	1
MD32000	MAX_AX_VELO	最高轴速度	500
MD32010	JOG_VELO_RAPID	点动模式下的快移速度（JOG）	500
MD32020	JOG_VELO	点动轴速度（JOG）	100
MD32060	POS_AX_VELO	定位轴速率的初始设定	10
MD32200	POSCTRL_GAIN	伺服增益系数（不宜过大）	2
MD32300	MAX_AX_ACCEL	轴加速度：通常该值不进行人为改变，而当轴运行启停时间过长时，可适当加大 MD32300；还有，当轴从静止加速至最高速或从最高速减速至零时发生轮廓报警或震荡的情况下，可适当减小 MD32300	1
MD35000	SPIND_ASSIGN_TO_MACHAX	设定为主轴（1 表示主轴名为 S1）	1
MD35100	SPIND_VELO_LIMIT	主轴最高速度	500
MD35110	GEAR_STEP_MAX_VELO	主轴各档的最高速度（仅 MD35010 = 1 才有效）	默认值 500
MD35130	GEAR_STEP_MAX_VELO_LIMIT	主轴各档最高转速限制	550
MD36000	STOP_LIMIT_COARSE	精确粗准停（mm）	0. 1
MD36010	STOP_LIMIT_FINE	精确精准停（mm）	0. 05
MD36200	AX_VELO_LIMIT	速度监控门槛值	600
MD43210	SPIND_MIN_VELO_G25	编程主轴最小速度限制 G25	5
MD43220	SPIND_MAX_VELO_G26	编程主轴最大速度限制 G26	30
MD43230	SPIND_MAX_VELO_LIMS	主轴速度限制 G96	30
MD43240	M19_SPOS	用 M19 定位主轴的主轴位置（度）	355
MD43250	M10_SPOSMODE	用 M19 定位主轴的主轴位置逼近方式	1

① 工件主轴的手动正向旋转控制（见图 2-36）：在 S7 CPU317－2DP 操作系统周期性执行组织块 OB1（用于循环处理的主程序）过程中，当 PLC 自接口信号 DB21. DBX35. 4 接收到 NCK 传送的程序状态中断有效信号且机床上［手动主轴］按钮的过程映像输入 I32. 2 = 1 时，伴随着 MCP483C 上［JOG］按键 S09 和［4（工件轴）］按键 S34 的线圈接通（状态 1），PLC 经由接口信号 DB34. DBX4. 7 向 NCK 传送正向移动键激活信号，随后工件主轴按照机床数据设定的速度手动运行。

② AUTO/MDA 方式下工件主轴的自动旋转控制（见图 2-36）：为使工件主轴按照程序设定的速度运转，不仅要在 FC124 中利用“CALL FB2，DB134”语句调用 PLC 基本程序所提供的功能块 FB2 以读取关于电动机速度的 NC 变量，还要在暖启动组织块 OB100 中设定功能块 FB1 的参数 NCKomm = TRUE 以允许 NC 和 PLC 间交换数据。当 M98. 6 被置位为 1 状态并保持时，启动功能块 FB2 操作请求由 PLC 自 NC 中读取主轴电动机的速度数据。当速度数据传输成功时 M98. 5 = 1，接着 M98. 6 被复位为 0 状态并保持，速度数据的读取操作被取消。当速度数据传输出错时 M98. 4 = 1，接着 M98. 6 被复位为 0 状态并保持，速度数据的读取操作被取消。同样按下 MCP 上［RESET］按钮 S13 时也可取消速度数据的读取操作。对于速度数据传输出错的情况，可由错误标识参数 State 的状态字 MW456 查询故障的类型（参见表 2-4）。另外在工件主轴侧安装了一个检测开关（PLC 输入信号为 I33. 4），通过工件主轴转 1r 所需的时间来间接检测主轴的实际运行速度，然后与速度数据确定的主轴运行速度（即转 1r 所需的时间）相比较。若工件主轴转 1r 所需的实际用时大于设定用时，则 PLC 经由接口信号 DB2. DBX182. 3 向 MMC 传送“700019：工件主轴速度检测异常报警”并在 OP010 的显示器上显示。

5）611D 驱动系统中紧急返回的控制：PF6－S2500 数控磨床在自动执行程序过程中，常因处理停止的 NCK 报警（NCK 传送至 PLC）、控制电压空气开关过电流（包括 AC380V 变 AC220V 的 QF4_16A，AC380V 变 DC24V 的 QF5_6A，为接触器提供 AC220V 的 QF7_4A，为 PLC 提供 DC24V 的 QF8_3A，为中间继电器提供 DC24V 的 QF9_10A，为机床工作灯提供 DC24V 的 QF10_4A 以及为电控柜空调提供 AC380V 的 QF11_6A）、电动机空气开关过电流（包括砂轮油冷却风机 M1_0. 18kW 的 QM1，液压电动机 M2_1. 1kW 的 QM2，冷却过滤泵电动机 M3_3kW 的 QM3，切削液电动机 M4_2. 2kW 的 QM4，砂轮润滑泵电动机 M5_0. 18kW 的 QM5 及砂轮侧罩电动机 M7_0. 12kW 的 QM7）、砂轮主轴变频器报警、工件主轴速度检测异常报警、砂轮主轴速度检测异常报警或砂轮碰撞报警等异常状况而使机床的进给加工处于不安全状态，此时应使处于加工状态的 *X* 进给轴自动快速返回至安全位置，以避免继续进给加工而造成 PF6－S2500 数控磨床损坏。下面详细介绍 PF6－S2500 数控磨床紧急返回的控制过程（见图 2-37）。

① 编制子程序名为 X_RETURN. SPF 的紧急返回子程序

X_ RETURN. SPF

N010 G90 G00 X40. 0；*X* 轴快速回退至机床坐标系 40. 0 的安全位置

N020 ALARM：MSG（“X－axis Emergency return”）；MSG 指令编报警信息

N030 M00；

N040 GOTOB ALARM；

N050 M17；

② 在磨削主程序 L100. MPF 的开头加入程序段“N00 SETINT（1）PRIO = 1 X_ RETURN”，将 X_RETURN. SPF 子程序的中断号设置为 1，优先级设置为 1。

③ 当自动执行程序的机床出现控制电压空气开关过电流等异常状况或按下 MCP483C 下方的黄色［紧急返回］按钮时，触发紧急返回脉冲 M301. 1 且持续有效后经由辅助线圈 M300. 0 启动中断子程序 FC9。PLC 将中断号为 1 的子程序 X_ RETURN. SPF 分配至通道 1 中运行，*X* 轴便快速返回至机床坐标系 40. 0 的安全位置，并给出“*X* 轴紧急返回”报警。

```
PF6－S2500数控磨床/OB1"ZYKLUS"
程序段 12： 无程序运行时[手动主轴]按钮控制 SP 正转且自动换至 JOG方式
    A     I        32.2       // 串联操作门侧面 [手动主轴] 按钮常开触点
    A     DB21.DBX  35.4      // 程序状态中断信号(NCK传送至PLC)常开触点
    JCN   SPJO                //RLO=0 时跳转至SPJO语句
    A     I        32.2
    A     DB21.DBX  35.4
    =     I         0.3       // 将MCP上[JOG]按键 S09赋值为 1
    =     I         5.6       // 将MCP上[4(工件轴)] 按键S34 赋值为1
    A     I        32.2
    A     DB21.DBX  35.4
    =     DB34.DBX   4.7      //PLC 向NCK 传送正向移动键激活信号
SPJO: NOP  0                  //空操作指令(16个0)
```

```
PF6－S2500 数控磨床/FC124"工件主轴速度控制"
程序段 1： 读 NC变量条件
//  数据传输未出错的前提下将M98.6置位为1状态，以启动 FB2调用
    A     Q      2.1      //串联 [CycleStart] 按键灯 LED16常开触点
    AN    M     98.4      // 串联 M98.4(数据传输出错) 常闭触点
    S     M     98.6      //M98.6(FB2操作请求) 置位为 1并保持
// 数据传输成功 ，按下 MCP上[RESET]按钮或数据传输出错时，
// 将M98.6 复位为 0，以停止 FB2调用
    A     M     98.6      // 串联 M98.6(FB2 操作请求) 常开触点
    A     M     98.5      // 串联 M98.5(数据传输成功) 常开触点
    O                     // 逻辑或
    A     I      3.7      // 串联 MCP上[RESET]按钮 S13常开触点
    A     M     98.4      // 串联 M98.4(数据传输出错) 常开触点
    O
    A     M     98.6
    A     M     98.4
    R     M     98.6      //M98.6(FB2操作请求) 复位为 0并保持
程序段 2： 利用 PLC 程序中的FB2读取NC变量并分配背景数据块 DB134
    CALL  FB     2，  DB   134        // 调用 FB2程序块并分配DB134
      Req       := M98.6       //FB2操作请求，每激活1次读操作执行1次
      NumVar    := 1                  // 输入要读取 NC变量的个数
      Addr1     := "电动机速度".V3  M  DESIRED  SPEED  1706
                                      // 自 NC 变量选择器中获取的变量标识
      Unit1     := B#16#1             //B#16# 表示 16进制字节
      Column1   :=                    // 可选变量寻址的列地址
      Line1     := W#16#1             // 可选变量寻址的行地址(16 进制字)
      Addr2     :=
      Unit2     :=
      Column2   :=
      Line2     :=
      Addr3     :=
      Unit3     :=
      Column3   :=
      Line3     :=
      Addr4     :=
      Unit4     :=
      Column4   :=
      Line4     :=
      Addr5     :=
      Unit5     :=
      Column5   :=
      Line5     :=
      Addr6     :=
      Unit6     :=
      Column6   :=
      Line6     :=
      Addr7     :=
      Unit7     :=
      Column7   :=
      Line7     :=
      Addr8     :=
      Unit8     :=
      Column8   :=
      Line8     :=
      Error     := M98.4       // 数据传输出错时M98.4=1 ，正常为 0
      NDR       := M98.5       // 数据传输成功时 M98.5=1 ， 否则为 0
      State     := MW456       // 传输不成功时经状态字MW456 判定原因
      RD1       := MD510       // 读NC中工件主轴电动机的速度(m/min)
      RD2       :=
      RD3       :=
      RD4       :=
      RD5       :=
      RD6       :=
      RD7       :=
      RD8       :=
程序段 3： 工件主轴的设定速度
    A     M      80.1              // 串联 M80.1(逻辑 1) 的常开触点
    L     MD    510                //PLC 自 MD510 读取的工件主轴速度装入 ACCU1
    L     2.400000e－001           // 0.24 装入 ACCU1，原ACCU1中数据装入ACCU2
    *R                             // 浮点数乘法运算，乘积放在ACCU1中
    ABS                            // 求ACCU1 中浮点数乘积的绝对值
    T     DB136.DBD   108          // 取绝对值后的数据送至DB136.DBD128
程序段 4： 工件主轴每转用时(实际速度检测)
    A(                             // 逻辑与嵌套开始
    O     DB34.DBX   64.7          // 并联工件主轴正向进给命令信号
                                   //(NCK传送至PLC) 的常开触点
    O     DB34.DBX   64.6          // 并联工件主轴负向进给命令信号
                                   //(NCK传送至PLC) 的常开触点
    )                              // 逻辑与嵌套结束
    A     I       32.3             // 串联急停按钮 (I32.3) 的常开触点
    =     M      130.0             // 工件主轴运行辅助线圈 "通电"

    A(
    O     M      130.0             // 并联 M130.0(主轴运行辅助)常开触点
    O     M      130.1             // 并联 M130.1 的常开触点以自锁
    )
    AN    M      130.6             // 串联 M130.6(主轴速度检测辅助) 常闭触点
    =     M      130.1             // 工件主轴 1r用时辅助线圈 "通电"

    A     M      130.0             // 串联 M130.0(主轴运行辅助) 常开触点
    A     I       33.4             // 串联主轴速度检测信号的常开触点
    =     M      130.6             // 工件主轴速度检测辅助线圈"通电"

    A     M      130.0             // 串联 M130.0(主轴运行辅助) 常开触点
    AN    M      130.3             // 串联 M130.3 的常闭触点
    L     S5T#10MS                 // 预置值 10 ms 送入 ACCU1
    SD    T      140               // 延迟定时器 T140(10ms) 的线圈"通电"
    A     T      140               // 串联延迟定时器 T140(10ms)的常开触点
    =     M      130.3             //1r 检测延迟辅助线圈"通电"

    A     M      130.0             // 串联 M130.0(主轴运行辅助)常开触点
    A     M      130.1             // 串 M130.1(主轴 1r 用时辅助) 常开触点
    A     M      130.3             // 串 M130.3(1r 检测延迟辅助)常开触点
    CU    C        2               // 接通主轴运行速度检测加计数器 C2
    A     M      130.1             // 串 M130.1(主轴1r用时辅助) 常开触点
    L     C        2               // 加计数器 C2的当前值装入ACCU1
    L     100            // 预置值 100 送入 ACCU1，原ACCU1 中的值送入 ACCU2
    *I                             // 取其整数相乘，运算结果放在 ACCU1内
    T     DB136.DBD   116          // 将主轴1r实际用时送至 DB136.DBD116

    A(
    ON    M      130.0       // 并联 M130.0(主轴运行辅助) 常闭触点，即 NCK
                             // 不再向 PLC 传送工件主轴正/ 负向进给命令信号
    O     M      130.6       // 并联 M130.6(主轴速度检测辅助) 常开触点，
    )
    R     C        2               // 复位加计数器 C2
程序段 5： 分别以秒和毫秒为单位计算工件主轴1r的用时 (设定时间)
    A     M      80.1              // 串联 M80.1( 逻辑 1) 的常开触点
    L     6.000000e+001            // 预置值 60 送入 ACCU1
    L     DB136.DBD   108          // 运算后的主轴速度送入ACCU1，
    /R                       //ACCU2的结果除以 ACCU1的结果，浮点数商存放
                             // 在ACCU 中且余数丢掉；即 1r 所需的时间 (s)
    T     MD    514                //1r 所需时间 (s) 传送至 MD514
//  以毫秒为单位计算工件主轴 1r用时
    L     MD    514                //MD514 内的 1r所需时间装入ACCU1
    L     1.000000e+003            // 预置值 1000 装入 ACCU1，
    *R                             // 浮点数乘法运算，乘积放在ACCU1中
    T     MD    518                //1r 所需时间 (ms) 传送至 MD518
    L     MD    518                //MD518内的 1r 所需时间 (ms) 装入 ACCU1
    RND                            //将浮点数转化为四舍五入的双整数
    T     DB136.DBD   120          //主轴 1r 所需时间送至 DB136.DBD120
```

```
PF6－S2500 数控磨床/FC131"机床报警 PLC－NCK"
程序段 19： 检测开关 (I33.4) 异常时向MMC 传送"700019 主轴速度检测异常"
    A     M      130.0             // 串联 M130.0(主轴运行辅助)常开触点
    L     DB136.DBD   116          // 主轴 1r 实际用时装入 ACCU1
    L     DB136.DBD   120          // 1r 设定用时装入ACCU1
    >D                             // 当 ACCU2 > ACCU1 时 RLO=1
    =     M       99.0             // 实际用时 > 设定用时， M99.0 线圈"通电"
    A     M       99.0             //串联 M99.0 的常开触点
    L     S5T#1S                   //预置值 1s 装入 ACCU1
    SD    T      110               //延迟定时器 T110(1s) 线圈"通电"
    A     T      110               // 串联 T110 的常开触点
    =     DB2.DBX   182.3          // PLC向 MMC 传送"700019 主轴速度检测异常"
```

图 2-36　PF6－S2500 数控磨床工件主轴速度控制的 PLC 程序

④ 在机床自动执行程序过程中，MCP483C 上［FeedStart］按键 S50 被激活而使 *X/Z* 伺服轴处于进给状态，此时 PLC 经由辅助线圈 M300.7 启动 PI 服务程序 FB4，以将中断号与子程序 X_ RETURN.SPF 进行链接；当紧急返回条件满足时 PLC 便调用中断子程序 FC9 进而触发中断。

```
PF6－S2500数控磨床/FC140“紧急返回”
程序段 1：自动执行程序过程中出现空气开关过电流等异常时紧急返回线圈“通电”
    A       DB11.DBX     6.0      // 串联 AUTOM 操作方式有效信号
                                  //(NCK传送至PLC)的常开触点
    A       DB21.DBX     35.0     // 串联程序运行状态有效信号
                                  //(NCK传送至PLC)的常开触点
    A(                            // 逻辑与嵌套开始
    O       DB21.DBX     36.7     // 并联出现处理停止的NCK报警信号
                                  //(NCK传送至PLC)的常开触点
    ON      I       40.2          // 并联控制电压空气开关过电流的常闭触点
    ON      I       40.3          // 并联电动机空气开关过电流的常闭触点
    O       DB2.DBX     182.2     // 并联 700018：砂轮主轴变频器报警信
                              // 号PLC传送至MMC)的常开触点；变频器报警输出时
                              // PLC输入信号I41.2=0 进而使 DB2.DBX182.2=1
    O       DB2.DBX     182.3     //并联700019：工件主轴速度检测异常
                                  //报警信号(PLC传送至MMC)的常开触点
    O       DB2.DBX     182.4     //并联 700020：砂轮主轴速度检测异常
                                  //报警信号(PLC传送至MMC)的常开触点
    O       DB2.DBX     183.0     //并联 700024：砂轮碰撞报警信号
                                  //(PLC传送至MMC)的常开触点
    )                             // 逻辑与嵌套结束
    –       M     301.0           // 紧急返回辅助线圈“通电”

程序段 2：按[紧急返回]按钮或异常状况时触发紧急返回脉冲并持续有效
    A(                            //逻辑与嵌套开始
    ON      I       39.7          //并联黄色[紧急返回]按钮的常闭触点
    O       M       301.0         //并联紧急返回辅助线圈的常开触点
    )                             //逻辑与嵌套结束
    AN      M       301.3         //串联M301.3的常闭触点
    –       M       301.1         //M301.1(紧急返回脉冲)线圈“通电”

    ON      I       39.7
    O       M       301.0
    =       M       301.3         //M301.3线圈“通电”

    A(
    O       M       301.1         //并联紧急返回脉冲线圈的常开触点
    O       M       301.2         //并联M301.2常开触点使紧急脉冲信号自锁
    )
    AN      M       300.2         //串联M300.2(FC9运行完毕)常闭触点
    AN      M       300.3         //串联M300.3(FC9运行出错)常闭触点
    AN      DB21.DBX     7.7      //串联复位有效信号(PLC传送至NCK)闭点
    A       I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
    –       M       301.2         //M301.2=1并自锁使紧急返回
                                  //脉冲信号持续有效

程序段 3：按[紧急返回]按钮或有异常时启动中断子程序FC9以触发中断
    A(
    O       M       301.1         // 并联紧急返回脉冲线圈的常开触点
    O       M       300.0         // 并联M300.0开点使辅助启动FC9信号自锁
    )
    AN      M       300.2         // 串联 M300.2(FC9运行完毕)常闭触点
    AN      M       300.3         // 串联 M300.3(FC9运行出错)的常闭触点
    AN      DB21.DBX     7.7      // 串联复位有效信号(PLC传送至NCK)的闭点
    A       I       32.3          // 串联急停按钮(I32.3)的常开触点
    –       M       300.0         //M300.0=1并自锁以辅助启动FC9
```

```
程序段 4：按[紧急返回]按钮或有异常时启动中断子程序FC9以触发中断
    A       M       300.0         //串联M300.0的常开触点
    =       L       0.0           //L0.0(FC9启动)线圈“通电”
    BLD     103       // 程序显示指令(空指令)，用于编程设备的图形显示
  CALL  FC   9                    // 调用中断子程序FC9
    Start       := L0.0           //L0.0=1时FC9启动，Bool型输入信号
    ChanNo      := 1              // 分配给FC9运行的NC输入通道号(Int)
    IntNo       := 1              //FC9的中断号(Int)
    Activ       := M300.1         //FC9运行中信号(Bool)输出
    Done        := M300.2         //FC9运行完成信号(Bool)输出
    Error       := M300.3         //FC9运行出错信号(Bool)输出
    StartErr    := M300.4         //FC9运行不能正常启动信号(Bool)输出
    Ref         := MW500          //FC9内部使用的输入输出字(Word)
  NOP 0                           //空操作指令

程序段 5：按下MCP上[FeedStart]按键 S50时辅助启动 PI服务程序 FB4
    A(
    O       I       2.3           //并联[FeedStart]按键 S50的常开触点
    O       M       300.7         //并联 M300.7的常开触点以自锁
    )
    AN      M       300.6         //串联M300.6(FB4运行完成)常闭触点
    AN      M       300.5         //串联M300.5(FB4运行出错)常闭触点
    AN      DB21.DBX     7.7      //串联复位有效信号(PLC传送至NCK)的闭点
    –       M       300.7         //M300.7=1并自锁以辅助启动FB4

程序段 6：按下MCP上[FeedStart]按键 S50时辅助启动PI服务程序 FB4
    A       M       300.7         // 串联M300.7的常开触点
    =       L       0.0           //L0.0(FB4启动)线圈“通电”
    BLD     103       // 程序显示指令(空指令)，用于编程设备的图形显示
  CALL  FB    4，  DB   101       // 调用FB4程序块并分配DB101
    Req         := L0.0           //FB4操作请求，每激活1次紧急返回执行1次
    PIS ervice  :=  “PI”.ASUP         //PI服务任务为异步子程序
                                      //(FB4功能之一)
    Unit1       := 1                  // 区域数量
    Addr1       := DB100.path         // 异步子程序的路径(据PI服务
                                      //任务确定其含义)
    Addr2       := DB100.pname        // 异步子程序的名字(据PI服务
                                      //任务确定其含义)
    Addr3       :=
    Addr4       :=
    WVar1       := W#16#1             //16进制字
    WVar2       := W#16#1             //16进制字
    WVar3       :=
    WVar4       :=
    WVar5       :=
    WVar6       :=
    WVar7       :=
    WVar8       :=
    WVar9       :=
    WVar10      :=
    Error       := M300.5             //FB4运行出错信号(Bool)输出
    Done        := M300.6             //FB4运行完成信号(Bool)输出
    State       := MW400              //运行出错时经状态字MW400判定原因
  NOP 0                               //空操作指令
```

图 2-37　PF6－S2500 数控磨床紧急返回控制的 PLC 程序

6）611D 驱动系统中工件返回的控制：处于 JOG 操作方式的 PF6－S2500 数控磨床，当其 MCP483C 上［装卸原点］按键 S42 被按下时，机床轴便返回至工件装卸位置且工件主轴定向准停。读者可参照 PF6－S2500 数控磨床紧急返回的控制，来分析该磨床工件返回的控制（见图 2-38）。

4. 611D 电源模块的故障分析

611D 驱动系统的可靠运行是保证数控机床持续稳定运转及充分发挥其良好加工性能的关键，

```
PF6 – S2500 数控磨床 /FC141“工件返回”
程序段 1：按下MCP[装卸原点]按键 S42 时触发工件返回脉冲并持续有效
    A      DB11.DBX    6.2       // 串联JOG 操作方式有效信号的常开触点
    A      I           5.3       // 串联[装卸原点]按键 S42 的常开触点
    AN     M         303.3       // 串联M303.3的常闭触点
    –      M         303.1       //M303.1(工件返回脉冲)线圈“通电”
    A      DB11.DBX    6.2
    A      I           5.3
    –      M         303.3       //M303.1 线圈“通电”

    A(                           // 逻辑与嵌套开始
    O      M         303.1       // 并联M303.1(工件返回脉冲)的常开触点
    O      M         303.2       // 并联M303.2 开点使工件返回脉冲自锁
    )                            // 逻辑与嵌套结束
    AN     M         302.2       // 串联 M302.2(FC9 运行完毕)常闭触点
    AN     M         302.3       // 串联 M302.3(FC9 运行出错)常闭触点
    AN     DB21.DBX    7.7       //  串联复位有效信号(PLC传送至NCK)常闭触点
    A      I          32.3       //  串联急停按钮(I32.3)的常开触点
    =      M         303.2       // M303.2=1使工件返回脉冲信号持续有效
程序段 2：按[装卸原点]按键 S42 时启动中断子程序FC9以触发中断
    A(
    O      M         303.1       // 并联工件返回脉冲线圈的常开触点
    O      M         302.0       // 并联M302.0常开触点使辅启动FC9 信号自锁
    )
    AN     DB21.DBX    7.7       //串联复位有效信号(PLC传送至NCK)的常闭触点
    A      I          32.3       // 串联急停按钮(I32.3) 的常开触点
    –      M         302.0       //M300.0–1并自锁启动中断子程序 FC9
程序段 3：按[装卸原点]按键 S42 时启动中断子程序FC9以触发中断
  CALL  FC  9                    // 调用中断子程序 FC9
    Start      :– M302.0         //M302.0–1 时 FC9启动，Bool 型输入信号
    ChanNo     := 1              // 分配给FC9运行的 NC 输入通道号(Int)
    IntNo      :– 2              //FC9 的中断号(Int)
    Activ      := M302.1         //FC9 运行中信号(Bool)输出
    Done       :– M302.2         //FC9运行完成信号 (Bool)输出
    Error      := M302.3         //FC9运行出错信号(Bool)输出
    StartErr   := M302.4         //FC9运行不能正常启动信号(Bool)输出
    Ref        :– MW410          //FC9内部使用的输入输出字(Word)
  NOP 0                          // 空操作指令
程序段 4：按下MCP上[FeedStart]按键S50时启动PI服务程序 FB4
    A(
    O      I           2.3       // 并联 [FeedStart]按键 S50 的常开触点
    O      M         302.7       // 并联 M302.7 的常开触点以自锁
    )
    AN     M         302.6       // 串联M302.6(FB4 运行完成)常闭触点
    AN     M         302.5       // 串联M302.5(FB4 运行出错)常闭触点
    AN     DB21.DBX    7.7       // 串联复位有效信号(PLC传送至NCK)的常闭触点
    =      M         302.7       //M302.7=1并自锁以启动异步子程序FB4
程序段 5：按下MCP上[FeedStart]按键 S50 时启动异步 PI服务程序 FB4
  BLD   103      // 程序显示指令(空指令)，用于编程设备的图形显示
  CALL  FB   4，DB   103         //  调用FB4程序块并分配DB103
    Req        :– M302.7         //FB4 操作请求，每激活1次紧急返回执行1次
    PIS ervice :– “PI”.ASUP      //PI服务任务为异步子程序
                                 //(FB4 功能之一)
    Unit1      := 1              // 区域数量
    Addr1      :– DB100.path1    // 异步子程序的路径(据PI 服务
                                 //任务确定其含义)
    Addr2      :– DB100.pname1   // 异步子程序的名字(据PI 服务
                                 //任务确定其含义)
    Addr3      :–
    Addr4      :=
    WVar1      := W#16#2         //16 进制字
    WVar2      :– W#16#1         //16 进制字
    WVar3      :–
    WVar4      :=
    WVar5      :–
    WVar6      :–
    WVar7      :=
    WVar8      :–
    WVar9      :=
    WVar10     :=
    Error      := M302.5         //FB4运行出错信号(Bool)输出
    Done       := M302.6         //FB4 运行完成信号(Bool)输出
    State      :– MW420          // 运行出错时经状态字MW420判定原因
  NOP 0                          // 空操作指令
```

图 2-38　PF6 – S2500 数控磨床工件返回控制的 PLC 程序

而为驱动系统提供电子电源（±15V、24V 和 5V）和直流母线电压的电源模块更是保证 611D 驱动系统可靠运行的基础。因此，维修人员应熟悉 611D 电源模块的常见故障，并运用正确的维修方法快速排除故障以恢复数控机床的运转。

（1）611D 电源模块的诊断功能　如图 2-39 所示。

1）在 611D 电源模块的内部有一“准备好”继电器（准备好信号与该模块上 DIP 开关 S1 的设定有关），并由 X111 接口提供一副 T73.1/T72 常开输出触点和一副 T74/T73.2 常闭触点。当 611D 驱动系统进入正常工作状态后，准备好继电器的常开触点由断开状态转为闭合状态，由此 T73.1（DC24V）和 T72 接通并经由 T72 向 PLC 传送驱动系统就绪信号，否则 PLC 监控出错并在 OP 单元上显示驱动系统未就绪报警。

2）611D 电源模块经由 X121 接口提供了一副 T5.2/T5.1 常开触点和一副 T5.3/T5.1 常闭触点，可连接至 PLC 的输入端以实时监控电源模块异常状况（过电流或电动机温度报警）的出现。当电源模块过电流时，T5.2 和 T5.1（DC24V）间所串联的过电流继电器（I^2t）的常开触点便由正常的闭合状态转为断开状态，并经由 T5.2 向 PLC 传送模块异常报警信号，最终在 OP 单元上显示该报警。

3）611D 电源模块向用户提供了 6 个运行指示灯，以方便维修人员运用状态指示灯分析法快速排查电源模块发生故障的原因。其中左侧红色 LED1、绿色 LED3 和红色 LED5 分别为 ±15V 电子电源故障、外部使能信号 T63/T64 丢失（T63/T64/T48 未与 T9 接通）和外部供电故障（三相主电源进线缺相）的状态指示，右侧红色 LED2、黄色 LED4 和红色 LED6 分别为 5V 电子电源故障、电源模块正常运行且直流母线预充电结束、直流母线过电压的状态指示。

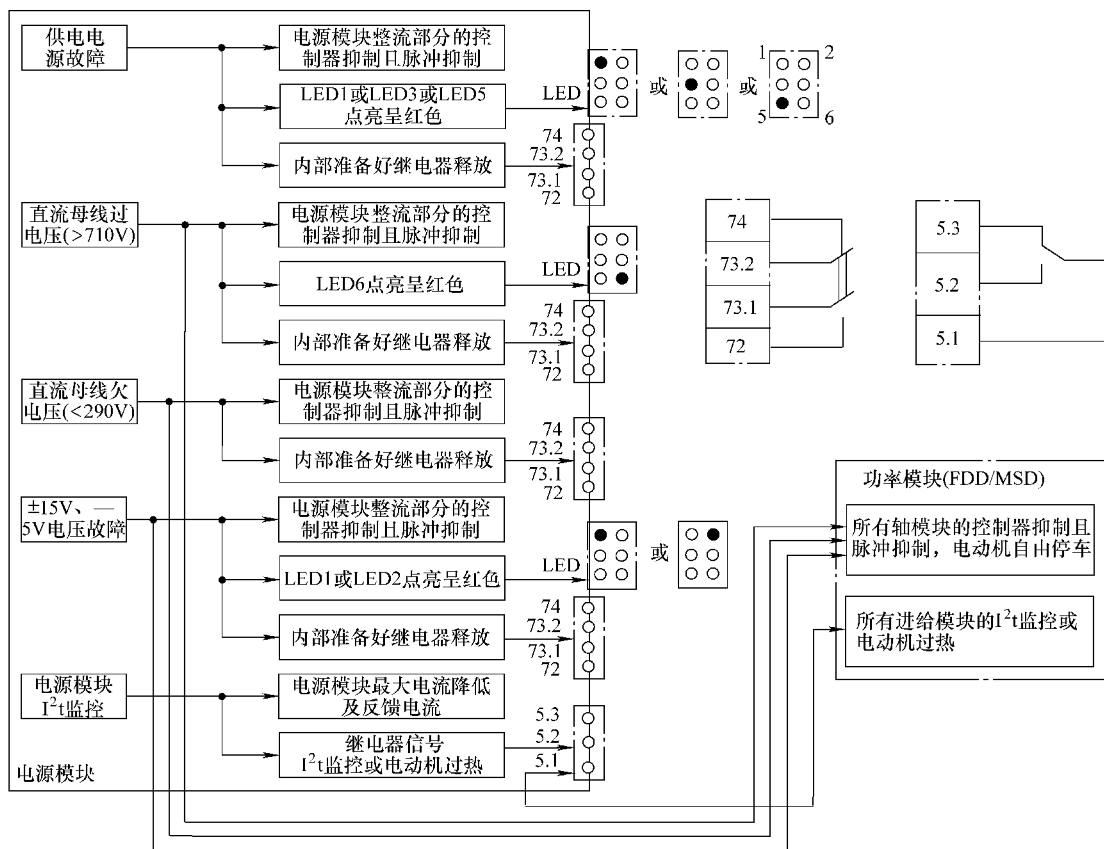


图 2-39 611D 电源模块诊断功能的运行机制框图

4）611D 电源模块经由 X141 接口提供了一组用于维修诊断的检测端子，其中 T7/T44 为 DC ±24V，T45/T10 为 DC ±15V，T15 为 0V 公共端，TR 为电源模块报警的复位端子（TR 与 T15 短接则驱动系统被复位）。维修人员可借助万用表对这些端子进行检测以判定电源模块工作是否正常。

5）611D 电源模块经由 X161 接口提供了一组用于模块内部主接触器触点闭合状态判定的检测端子 T213/T111（常闭触点）和 T113/T111（常开触点）。以 T213/T111 为例，当电源模块内部主接触器闭合时 T213/T111 断开，用万用表测量两端子间电阻值为∞；而当主接触器断开时 T213/T111 接通，用万用表测量两端子间电阻值为 0。

6）根据机床工作要求，可在 611D 电源模块的 T48/T9、T63/T9 及 T64/T9 间串联中间继电器的常开触点以控制电源模块的使能，中间继电器常开触点的状态通过 PLC 控制该继电器线圈通电或断电来改变。一旦出现动作异常，则 PLC 输出报警并在 OP 单元上显示该报警信息。

（2）611D 电源模块的常见故障及排除方法

1）电源模块无反应且运行指示灯均未点亮：先用万用表检测电源模块输入主电源（U1、V1、W1）的电压是否正常（输入电源类型与电源模块上 DIP 开关 S1.1 和 S1.4 的设定有关，最常用的电源类型是 S1.1 和 S1.4 均置 OFF 状态的三相 AC400V ±10% V，指针式万用表的使用方法如图 2-40 所示），再检查 X181 接口中 1U1/1V1/1W1 与 2U1/2V1/2W1 的连接情况。当 1U1、1V1 和 1W1 分别与 2U1、2V1 和 2W1 短接时，应检查短接是否正常。当容量为 80kW 及以上的电源模块通过 X181 接口中 2U1/2V1/2W1 进行外部控制电源（三相 AC400V）的供电时，应检查外

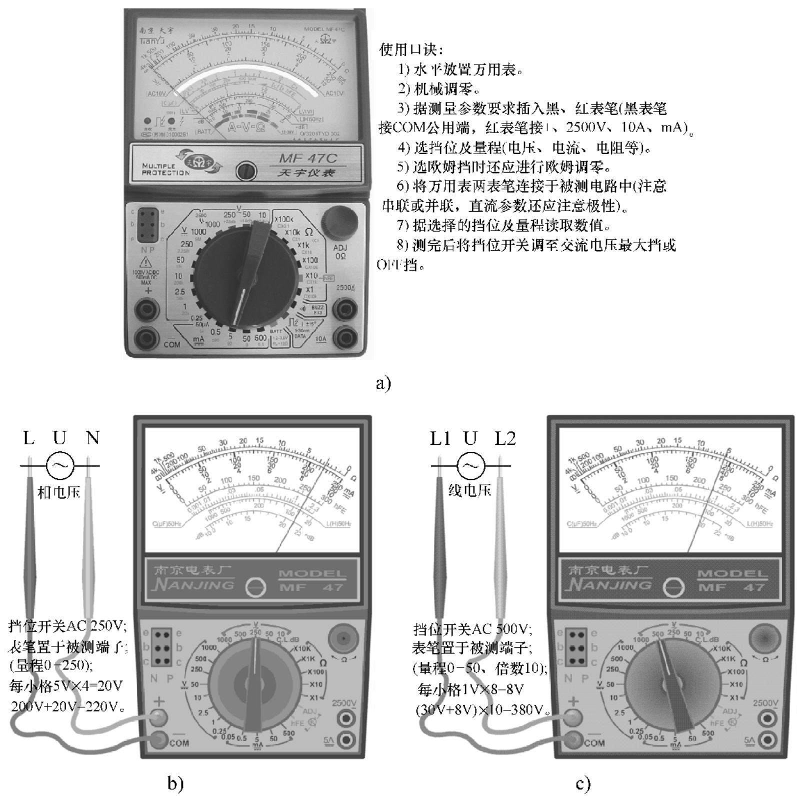


图 2-40　指针式万用表的使用方法

a）外形及使用口诀　b）测交流相电压　c）测交流线电压

部控制电源的电压是否正常。若以上检查均正常时，可采用同规格的备用电源模块进行更换，以快速排除 611D 电源模块的故障。

2）电源模块使能异常而无法正常启动：先测量电源模块输入主电源（U1、V1、W1）的电压是否正常，再依据电源模块上运行指示灯的状态和 611D 驱动系统的使能过程，逐步查找使能异常的原因以快速排除故障。611D 驱动系统的使能过程：当接通机床电源并释放 MCP 上的急停按钮（PLC 的输入信号）时，611D 电源模块的控制使能直接生效（T48/T9 短接），或经由 PLC 控制中间继电器的常开触点闭合而间接生效（T48/T9 间串联中间继电器的常开触点）→当电源模块内部直流母线预充电电路继电器控制使能（X171 接口的 NS1/NS2 短接）时，直流母线的预充电电路经压敏电阻后接通，直至直流母线电压达到整定电压值（DC570V 左右）→电源模块的脉冲使能直接接通（T63/T9 短接），或经由 PLC 控制中间继电器的常开触点闭合而间接接通（T63/T9 间串联中间继电器的常开触点）→脉冲使能同时作用于所连接的驱动模块上使直流母线电压上升至可控电压值（DC600V）→电源模块的驱动器控制使能直接接通（T64/T9 短接），或经由 PLC 控制中间继电器的常开触点闭合而间接接通（T64/T9 间串联中间继电器的常开触点）→当 PLC 控制中间继电器常开触点闭合而使各伺服轴功率模块的脉冲使能（T663/T9）接通时，611D 驱动系统使能启动。

3）运行指示灯中 ±15V、5V 故障灯点亮呈红色：

① 维修人员可依据电源模块的断电顺序（主轴停止后）按下面板上的急停按钮→T64/T9 断开使驱动器进入快速制动的制动状态→T63/T9 断开使驱动器进入自由状态→T48/T9 断开直流母线开始放电→断开机床电源并等待 4min 以上使直流母线放电完毕（以免测量操作时发生触电危险）→拔下功率模块上 X151 接口和电源模块上 X121、X141、X161、X171 接口的连线。

② 机床重新上电，观察 ±15V、5V 故障灯的点亮情况，若熄灭则表示这些接口中存在短路情况。此时可将 X151、X121、X141、X161 和 X171 接口逐个进行连接，一旦 ±15V、5V 故障灯点亮则表示该接口中存在短路情况。

③ 对存在短路故障的接口进行维修或更换，即可排除故障。

④ 若设备总线接口 X151 的扁平电缆存在短路而引起 ±15V、5V 故障灯点亮时，维修人员还应通过顺次连接功率模块上 X151 接口的扁平电缆来排查短路故障所存在的部位。一旦查明短路部位，可先用同型号的数字式闭环控制板进行替换以排除控制板的不良，再用相同的功率模块或电源模块替换以最终排除短路故障。

4）供电电源故障：

① 维修人员应先确定故障出现在上电（Power－up）时还是在使能（Enable）时。

② 故障出现在上电时，应检查电源模块的输入主电源（U1、V1、W1）和 X181 接口中是否存在缺相或连接错误，以及用同规格的电源模块替换来消除故障。

③ 故障出现在使能时，可参照上述“2）电源模块使能异常而无法正常启动”的分析思路进行故障的排除。

5）直流母线过电压：

① 维修人员应先确定故障出现在上电（Power－up）时还是在电动机制动时。

② 故障出现在上电时，则可能为进线电压过高（超出 400V ±10% V 的范围）。

③故障出现在电动机制动时，应检查电源模块上 DIP 开关 S1.3 的制动功能是否有效（S1.3 为 OFF）。

④ 当进线电压（S1.1 和 S1.4 均为 OFF 时输入电源类型为三相 AC400V）超过 AC424V 时，可设置 S1.1 为 ON、S1.4 为 OFF 将输入电源类型调整为三相 AC415V ±10% V。若直流母线过电压故障依旧存在，则需更换电源模块。

⑤ 还应检查 I/RF 模块所需的供电容量（如 80kW 的 I/RF 模块至少需要 104kV·A 的供电容量）以及所配置的三相电抗器是否与之匹配等。

5. 611D 功率模块的故障分析

611D 功率模块可为机床提供频率和电压可变的交流电源，进而驱动伺服电动机旋转并由联轴器和滚珠丝杠螺母副等中间耦合部件带动工作台移动。一旦功率模块发生故障，机床的伺服装置环节将出现异常，从而导致机床无法继续加工工件。因此，维修人员有必要熟悉功率模块的监控保护功能和检测方法，以快速排除故障、恢复机床运转。

（1）611D 功率模块的监控保护功能（见图 2-41）

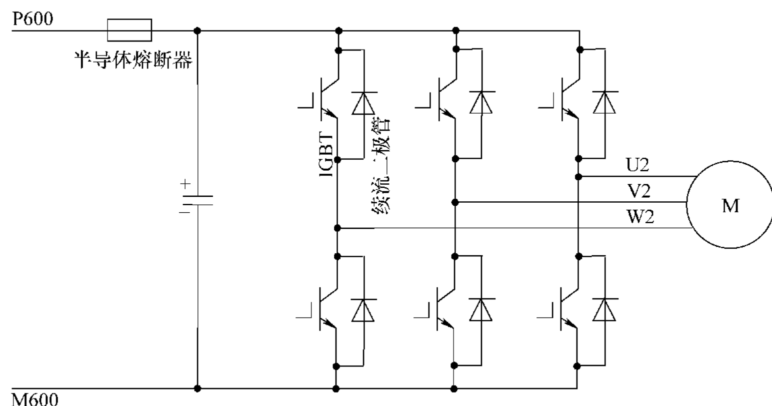


图 2-41　611D 功率模块的监控保护功能

1）当 611D 功率模块、连接电缆或伺服电动机出现故障时，功率模块内部半导体熔断器将功率模块自直流母线中隔离出来，以防止故障的进一步扩大。通常功率模块内的 IGBT 导通后，集射极 Vce 的电压必须迅速下降至一个很低的值，同时功率模块对 Vce 实时监控以检测 IGBT 的电压降。当监控短路或电动机的某相绕组对地短路时，Vce 急剧上升并使 IGBT 达到饱和状态，然后监控电路立即关断 IGBT。此时功率模块必须重新上电方可取消该故障信号（电源模块上 X141 接口的 TR 复位端子无法将其复位）。

2）数控系统可对功率模块上散热器的温度进行监控以间接监控功率模块运行时的电流值（见图 2-42），当该电流值过大时，散热器温度将升高直至超出系统的允许温度而出现报警提示。

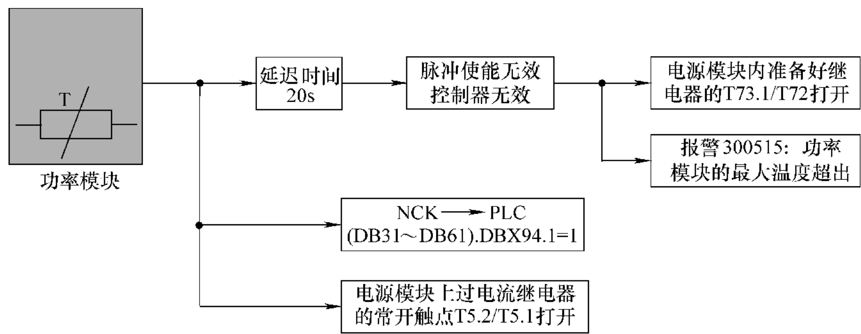
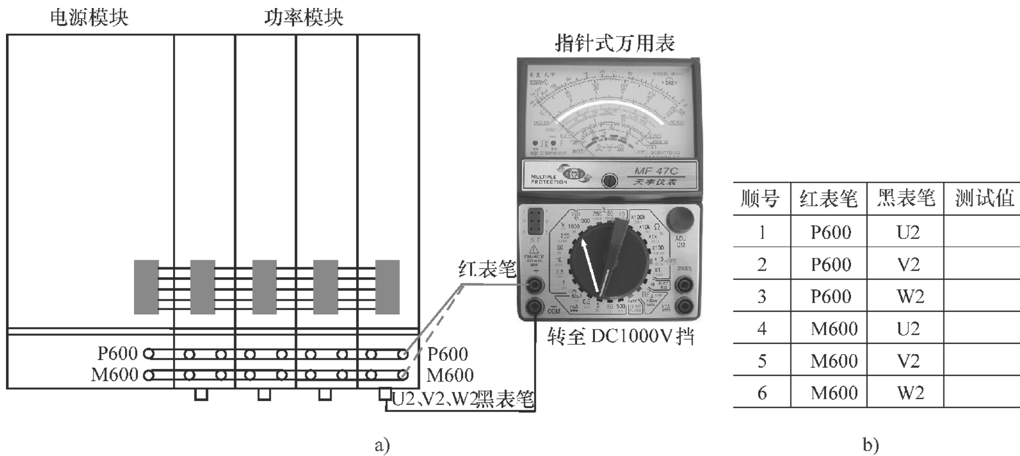


图 2-42　611D 功率模块散热器温度报警机制

（2）611D 功率模块的检测方法　遇到 611D 功率模块故障时，不要盲目地更换功率模块，应先用万用表对其进行电压挡测试和欧姆挡测试以确定功率模块是否正常。

1）电压挡测试功率模块：测试时万用表的挡位开关置于 1kV 挡，611D 驱动系统处于通电状态且直流母线不必断开。然后按照电压挡测试表格中的对应关系（见图 2-43），将万用表的黑表笔分别接在功率模块上电压输出端 U2、V2 和 W2，红表笔分别接在功率模块上直流母线的 P600 和 M600，最终快速直观地测出 611D 功率模块是否处于运行状态。



顺号	红表笔	黑表笔	测试值
1	P600	U2	
2	P600	V2	
3	P600	W2	
4	M600	U2	
5	M600	V2	
6	M600	W2	

图 2-43　611D 功率模块的电压挡测试
a）测量示意图　b）电压挡测试表格

2）欧姆挡测试功率模块：只要 611D 功率模块发生故障，集成在其内部的 IGBT 就会有反应，因此可通过万用表的欧姆挡对功率模块进行测试。测量前先切断机床电源并等待 4min 以上使直流母线放电完毕，然后断开伺服电动机与功率模块的连接（U2、V2 和 W2），再将被测量功率模块的连接端子 P600/M600 与相邻模块断开。第一次测量时，万用表的挡位开关置于欧姆挡，

红表笔接在功率模块的连接端子 P600 上，黑表笔分别接在电压输出端 U2、V2、W2 上，此时万用表显示电阻值应为∞。交换万用表的红、黑表笔继续测量电阻值应非常小。第二次测量时将万用表的红表笔接在功率模块的连接端子 M600 上，黑表笔仍然分别接在电压输出端 U2、V2、W2 上，此时万用表显示的电阻值应非常小。交换万用表的红、黑表笔继续测量电阻值应为∞。

6. 840D 进给轴抖动严重的故障分析

一台用于铁路货车 RE_{2B} 型车轴轴颈和防尘板座及两圆弧根部一次成形磨削加工的 PF61 - S3000 成形数控磨床，在伺服轴 *X* 快速/慢速进给时均出现严重的抖动现象，进而导致被修整的磨削砂轮表面出现沟槽，最终以手感凸台状环形“皱纹”的形式直接反映在 RE_{2B} 型车轴轴颈、防尘板座或两圆弧根部的表面上（见图 2-44）。

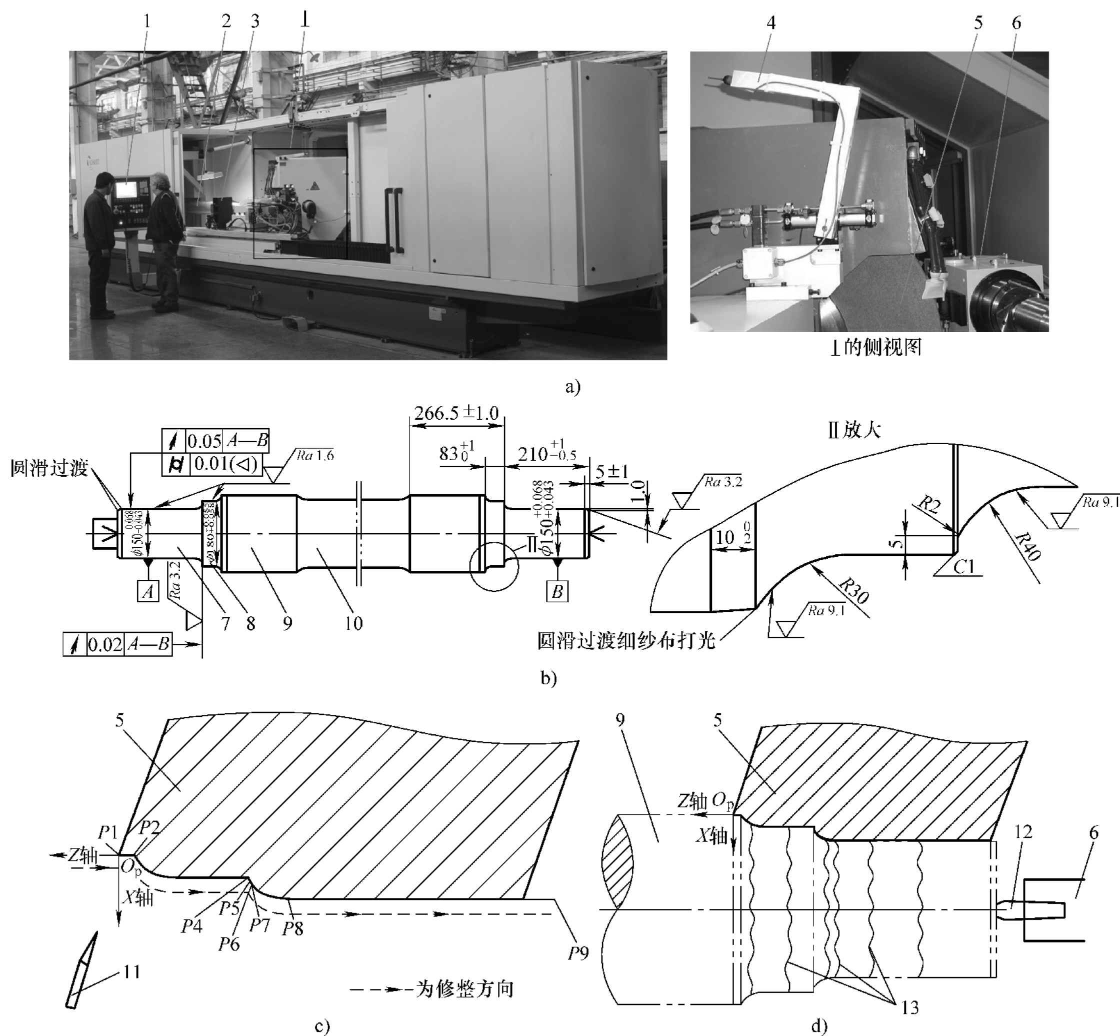


图 2-44 PF61 - S3000 成形数控磨床及其被磨削工件

a）PF61 - S3000 成形数控磨床的组成结构 b）被磨削的 RE_{2B} 型车轴

c）砂轮修整示意图 d）RE_{2B} 型车轴表面的环形皱纹

1—PCU50、OP012 和 PP031 2—头架 3—Marposs P5 在线径向测量仪 4—Marposs T25G 接触式测头

5—20°斜进切入式磨削砂轮 6—尾座 7—车轴轴颈 8—车轴防尘板座 9—车轴轮座

10—车轴轴身 11—片状金刚笔 12—莫氏 6#顶尖 13—手感凸台状环形“皱纹”

（1）PF61－S3000 成形数控磨床的性能介绍 该磨床选用 SINUMERIK 840D 系统和 SIMODRIVE 611D 驱动系统，配置 NCU573.2、PCU50、操作面板 OP012 及带光电隔离输入端的机床按键面板 PP031－MC/HR 等，其伺服轴 X 采用全闭环控制方式，伺服执行机构为尾部装有绝对式旋转编码器（海德汉 EQN1325－2048）的 1FT6064－6AC71－4EG1 同步电动机直接驱动滚珠丝杠螺母副旋转，位置检测装置为海德汉 LB186 钢基直线光栅尺。该磨床使用由较小天然金刚石颗粒人为排列烧结而成的片状金刚笔对规格为 ϕ900×290×304.8－19A60LVS45m/s 的 20°斜进切入式整体磨削砂轮进行修整。修整时 840D 系统根据预先编制的砂轮修整程序指令，控制伺服轴 X、Z 联动从而修整出与 RE_{2B}型车轴被磨削部位相吻合的砂轮形状，并使用 Marposs P5 在线径向测量仪直接监控磨削过程中 RE_{2B}型车轴轴颈的尺寸变化，进而间接控制车轴防尘板座的直径尺寸，同时采用硬线连接的 Marposs T25G 接触式测头进行车轴端面的定位（Z 轴）测量。PF61－S3000成形数控磨床的砂轮修整程序如下：

```
N10 G0G90G500;
N11 Z=5.;
N12 M1=8M2=8;
N1 X=-1.5                                 ; P1
N20 G1Z=0. F200.;
N21 X=0. Z=-4.828                         ; P2
N30 G64G3X=29.33Z=-30.382CR=30. F70       ; P3
N40 G64G1X=29.33Z=-88.428F120.            ; P4
N60 G64G1X=39.324Z=-88.428                ; P6
N70 G64G3X=42.659Z=-89.252CR=2. F70       ; P7
N80 G64G3X=59.34Z=-113.869CR=40.          ; P8
N90 G64G1X=59.339Z=-350. F150.            ; P9
N93 G0X=100.;
N94 M1=9M2=9;
```

（2）进给轴抖动的原因分析 维修人员应遵循“先机械后电气”的维修原则，对 840D 进给轴抖动的原因（见表 2-6）进行排查。通常先检查机械方面是否存在间隙，如丝杠和导轨的润滑不良或干燥以及滚珠丝杠螺母副的状态不良（如滚珠麻点、滚道起皮或蚀坑等）等，再适当减小与闭环控制相关的伺服增益参数 MD32200 和电流控制器比例增益参数 MD1120，必要时对 611D 驱动系统进行优化。

表 2-6 840D 进给轴抖动严重的常见原因及处理方法

序号	故障原因	处理方法	序号	故障原因	处理方法
1	直线导轨状态不良	需更换	4	电动机编码器安装不良导致运转不同步	按正确的安装方法重新安装编码器（后续章节介绍）
2	丝杠和导轨的润滑不良或干燥	改善润滑状况，更换堵塞或断裂的润滑油管/接头	5	联轴器松动致机械间隙出现	重新紧固：将锥环切开 1 条缝隙再次紧固；更换新联轴器
3	滚珠丝杠副状态不良致机械间隙出现	更换支承轴承并加注润滑脂，适当预紧；修理或更换滚珠丝杠副并适当预紧；重新调整丝杠副的轴向间隙	6	光栅尺安装不平造成读数头扭劲	重新安装光栅尺，并用千分表检查安装机面等部位的平行度和垂直度

（续）

序号	故障原因	处理方法	序号	故障原因	处理方法
7	光栅尺密封不良而被污染	光栅尺外面加装防护罩以避免油污浸入；定期清理防护罩下面的灰尘和金属碎屑；对光栅尺使用的压缩空气增加带干燥功能的精过滤装置（如 DA300），防止油水冷凝以避免读数故障；定期检查并更换光栅尺的密封唇条	9	电流控制器比例增益参数 MD1120 CURRC-TRL_ GAIN 设置过大（默认值为 10V/A）	西门子电动机出厂前已做过电流环优化，原则上不再调整电流环；从减小多轴联动轮廓误差的角度出发，在保证其余轴增益的基础上，适当减小 MD1120
8	伺服增益参数 MD32200 POSC-TRL_ GAIN 设置过大（默认值为 1）	当闭环状态下机械与检测装置不同步时，在保证几何轴同步和不产生抖动及工件加工质量的前提下适当减小 MD32200	10	611D 驱动系统需进行优化以尽可能提高系统的动态性和稳定性	PCU50 及以上直接在操作面板上进行优化，PCU20 需借助 IBN tool 软件在外设 PC 上进行优化操作

经认真检查后，发现伺服轴 X 的滚珠丝杠螺母副状态不良——丝杆滚道上局部起皮有轻微蚀坑且滚珠存在麻点，进而导致进给轴产生轴向间隙。如此便直接影响到磨削砂轮的修整质量（砂轮表面出现沟槽）并以手感凸起状环形“皱纹”的形式反馈至被磨削的 RE_{2B}型车轴表面上。

（3）进给轴抖动的解决措施　对 X 轴的滚珠丝杠螺母副进行拆卸并测绘，然后依据测绘的图样制作一根价格为 4800 元的国产化滚珠丝杠螺母副（见图 2-45，材质 GCr15、规格 FFZD4005T－3－P4/876×750）装于 X 轴。同时将 X 轴的伺服增益参数#32200 由 2 降为 0.8。经过一段时间的运用证明：设备状态良好，产品质量相当稳定。

7. 25050 轴轮廓监控报警的故障分析

配置了 SINUMERIK 840D 系统（也适用于 802Dsl/828D/840Dsl 系统）的数控机床，在使用中经常出现“25050 轴%1 轮廓监控”报警（%1 为轴名称或主轴号）而无法正常运转，最终影响产品的加工。因此有必要对轮廓监控报警的机理进行深入分析，使维修人员了解轮廓监控报警的常见原因并掌握相应的处理方法以快速恢复机床运转。

（1）轮廓监控报警的机理分析　在伺服轴启动时，NCK 会计算出给定位置点与实际到达位置点之间的误差，并与轮廓监控公差带参数 MD36400：CONTOUR_ TOL 的设定值进行比较。一旦误差值超过 MD36400 的设定值（允许误差），系统就会中止程序并触发 25050 报警。在此，将 25050 轮廓监控与 25040 静止监控和 25080 定位监控进行对比说明，使读者更好地理解其含义。

1）25040 静止监控：伺服轴处于运动中停歇（Standstill）时，由于使能处于满足状态且位置环生效，故伺服电动机产生的转矩带着负载而处于当前的位置保持状态。当有外力施加或负载突然变大时，伺服电动机的转矩将不足而导致当前的位置发生变化并触发 25040 报警。一般可通过增大零速度公差参数 MD36030：STANDSTILL_ POS_ TOL 和零速度控制延迟参数 MD36040：STANDSTILL_ DELAY_ TIME 的设定值来减少 25040 报警出现的频次，要消除该报警需继续查找具体原因。

2）25080 定位监控：当 NCK 按预定加速度控制伺服轴减速运动至目标停止位置时，由于机械传动链中某个部件不良或长期磨损而导致机械惯量或运动重复性发生变化，进而使位置检测装

其余 Ra 6.3
倒角C1
锐角倒钝

技术要求

1. 其余应符合GB/T17587.3—1998 P4级精度的要求
2. 动载荷Ca=13kN，静载荷Coa=40.6kN

图 2-45　PF61 - S3000 成形数控磨床的 *X* 轴国产化滚珠丝杠螺母副

置反馈的实际停止位置不在精确准停公差带内，遂触发 25080 报警。一般可通过增大精确粗准停参数 MD36000：STOP_ LIMIT_ COARSE 和精确精准停参数 MD36010：STOP_ LIMIT_ FINE 的设定值来减少 25080 报警出现的频次，要消除该报警需继续查找具体原因。

3）25050 轮廓监控：该报警既不出现在伺服轴静止时，也不出现在伺服轴停止时，而是出现在伺服轴给定启动的瞬间。导致此报警的主要因素是集机械、电气、液压和操作及编程于一起的数控系统动态特性未达到最优化状态。

4）简言之，3 个报警分别描述了伺服轴 3 个不同阶段的超差情况。其中 25050 轮廓监控是轴启动时的位置超差，25040 静止监控是轴停顿时的位置超差，25080 定位监控是轴停止时的位置超差。

（2）轮廓监控报警的常见原因及处理方法　基于轮廓监控报警机理分析的基础之上，结合有关该报警的维修经验，总结得出 25050 轮廓监控报警常见原因及处理方法，见表 2-7。

表 2-7　25050 轮廓监控报警的常见原因及处理方法

原因属性	常见报警原因	处理方法
机械系统故障	丝杠和导轨润滑不良或干燥	改善润滑状况，更换堵塞或断裂的润滑油管/接头
	机械传动链中某个部件不良或磨损严重导致反向间隙较大	检查联轴器、滚珠丝杆是否轴向窜动，丝母座是否松动，光栅尺的读数头是否震摆等，最好将反向间隙控制在 0.1mm 之内并修正速度环、电流环和位置环的 PID 与增益
电气系统故障	带抱闸的伺服电动机在轴使能时抱闸未打开	细听抱闸是否有“啪嗒”1 声，有则打开，没有则检查抱闸线圈的 24V DC 是否正常及抱闸释放的 PLC 信号是否输出
	用于实际位置检测的编码器或光栅尺故障	检查位置检测装置是否松动，或密封不良致检测装置受污染，或光栅尺安装不平造成读数头扭劲等
	伺服故障（功率模块/控制板无电流输出或输出电流不足致电动机无法驱动负载）	仅有 25050 报警，随情况恶化将出现 300501/300607 等过电流类的报警。查看“诊断→服务显示→驱动服务→电动机给定转速/实际转速/平滑电流”——启动瞬间电动机产生给定转速但未输出平滑电流而没有实际转速
	伺服电动机故障（电动机与机械负载不匹配）	电动机选择偏小而使其无法驱动机械负载，应重新选择伺服电动机
液压系统故障（稳定可靠性差）		检查液压系统是否稳定可靠，尤其是重力轴油压平衡缸对系统压力的影响
相关 NC 参数错误或丢失	MD36400：CONTOUR_ TOL（轮廓监控公差带）	在不影响加工精度的前提下，适当放大 MD36400 等监控窗口的值
	MD32200：POSCTRL_ GAIN（伺服增益系数即 Kv 因子）	设定 MD32200 可获得较大的闭环增益；但过大会导致进给轴抖动严重而影响产品加工，应在保证几何轴同步和不产生抖动的前提下适当减小该值
	MD32300：MAX_ AX_ ACCEL（轴加速度，单位 m/s^2）	若轴运行的启停时间过长，可加大 MD32300；若轴自零速运动至最高速或自最高速运动至零速时，出现 25050 报警或轴抖动，可减小 MD32300

（3）840D 系统轮廓监控报警的实例分析

1）TK6513 型镗铣床的 *X* 轴运行至一固定区域时出现 25050 报警：鉴于轴运行至固定区域时报警，可优先排除电气系统存在故障及相关 NC 参数的丢失。随后检查机械系统，发现滚珠丝杠端部固定轴承托架的 2 个螺栓松动而导致丝杠副螺母随轴运行至固定区域时与丝杆不同心，所产生的较大夹角使滚珠丝杠螺母副卡死后触发 25050 报警。重新紧固螺栓后，25050 报警消失。

2）运行中的 THM6363 型加工中心，伴随厂房电力供应的突然切断而停止加工。恢复厂房和机床的电力供应后，重新运行机床时伺服轴 *X*、*Y* 均出现 25050 报警。鉴于停电前机床可正常运行，可排除机械系统存在故障以及编码器和光栅尺等电气方面的故障，应重点排查突然停电引起伺服故障或相关 NC 参数丢失的可能性。将全闭环控制的 *X*、*Y* 轴改为半闭环控制后，机床运行正常，由此说明 *X*、*Y* 轴的功率模块正常并可断定与 *X*、*Y* 轴直接测量系统（X421/X422）相关的 NC 参数丢失。回装备份的 NC 参数后，重新运行机床报警消失。

3）25050 轮廓监控报警的一般检测流程，如图 2-46 所示。

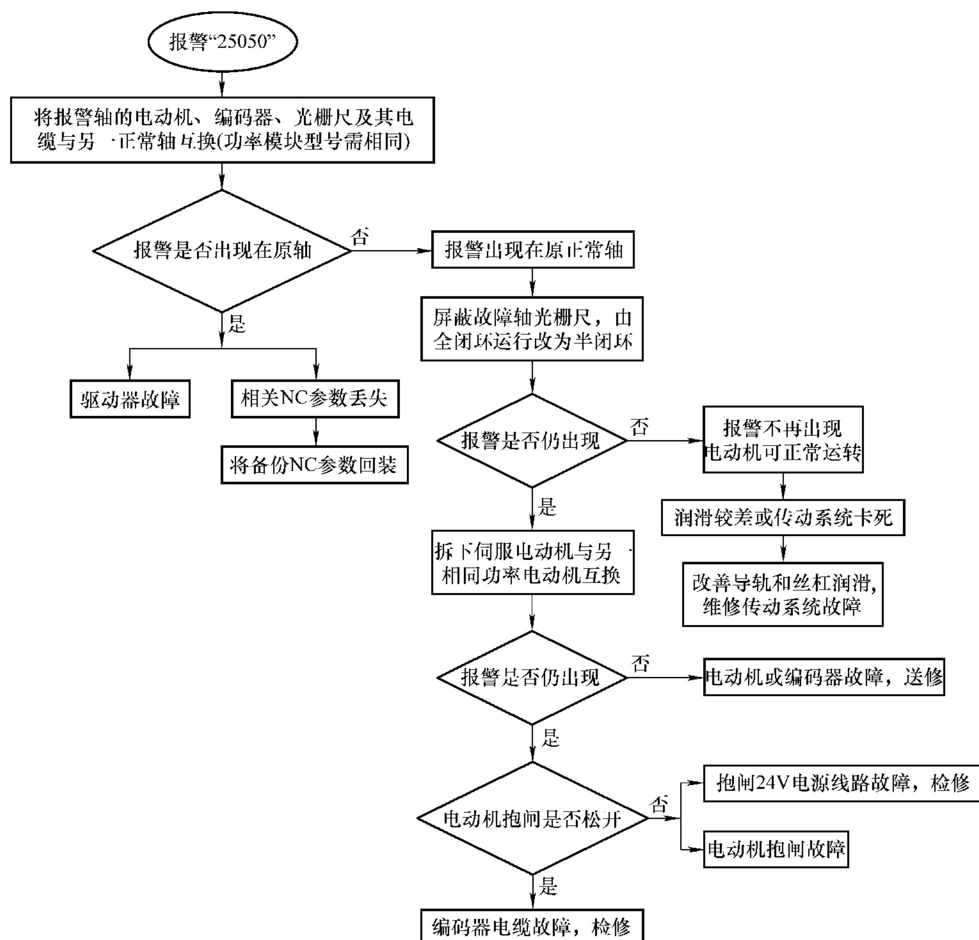


图 2-46　25050 轮廓监控报警的一般检测流程

2.2　SINAMICS 驱动系统及故障

SINAMICS 是西门子公司推出的具有宽广功率范围（0.12kW ~ 120MW）和电压范围（220V ~ 10kV）的全新驱动系列，可为机器制造和工厂工程应用中的所有驱动任务提供切合

实际的解决方案，例如离心机、挤出机、输送和运输设备中具有苛刻要求的独立驱动装置，组合机械、塑料薄膜和造纸机械及轧钢设备中的组合驱动装置，机床、包装和印刷机械使用的高动态伺服驱动装置等。目前 SINAMICS 系列主要有 SINAMICS G110、G120、G120D、G130、G150、S120、S150、GM150、SM150、GL150 等产品（见图 2-47），其中 SINAMICS S 用于驱动动态特性和精度要求苛刻的同步电动机，SINAMICS G 用于驱动标准用途下动态特性和精度要求不高的异步电动机。本书将重点介绍可用于 802Dsl、828D 和 840Dsl 等 SINUMERIK 系统上的 SINAMICS S120。

驱动产品	外形图	应用特性	控制方式	功率范围	应用场合	标准工程工具
SINAMICS G110		低压简单应用	V/F控制	0.12～3kW	泵、风机、传送带和广告牌及离心分离机等	SIZER：用于选型和配置 STARTER：用于快速测试、优化和诊断
SINAMICS G120		低压一般应用	V/F控制 矢量控制	0.37～90kW	泵、风机、传送带、压缩机、搅拌机、挤出机、纺织和汽车装配线及食品饮料等	
SINAMICS G120D				0.75～7.5kW		
SINAMICS G130/G150				75kW～1.5MW		
SINAMICS S120		低压复杂应用	V/F控制 矢量控制 伺服控制	0.12kW～4.5MW	轧机和辊道等生产线处理设备，钻机、大型传送带、试验台和港口机械等低压大型传动设备，包装机、纺织机、印刷机、注塑机和机床等精密加工设备	
SINAMICS S150				75kW～1.2MW	试验台、离心机和提升机等	
SINAMICS GL150		高压大容量应用	V/F控制 矢量控制	0.8～120MW	泵、压缩机、轧机、搅拌机、挤出机和矿井提升机等大型设备	
SINAMICS GM150/SM150						

图 2-47 SINAMICS 系列的驱动产品及用途

2.2.1　SINAMICS S120 的组成及接口布置

SINAMICS 系列中的 SINAMICS S120 是集 V/F 控制、矢量控制和伺服控制于一体的模块化多轴驱动控制系统，它不仅可连接 1FT7/1FK7/1FE1/2PN1/1FN3/1FN6 系列同步电动机以驱动数控机床的进给轴，还可连接 1PH4/1PH7/1PH8/1PM4/1PM6 系列异步电动机以驱动数控机床的主轴；同时经由串行数字式接口 DRIVE－CLiQ 可实现与 802Dsl、828D 和 840Dsl 等 SINUMERIK 系统的通信。根据结构型式和可驱动轴的数目，可将 SINAMICS S120 分为单轴驱动 AC/AC 变频器（又称 S120 单轴驱动器）和共直流母线的 DC/AC 逆变器（又称 S120 多轴驱动器）两种型式。

1. SINAMICS S120 单轴驱动器

SINAMICS S120 单轴驱动器由控制单元和功率模块两部分组成（见图 2-48），其中控制单元有 CU310DP（经 Profibus－DP 接口与上位控制器连接）、CU310PN（经 ProfiNET 接口与上位控制器连接）和适配器 CUA31（经 DRIVE－CLiQ 接口与 840Dsl 系统或 Simotion D 连接）三种型式，功率模块 PM340 在结构上将电源模块和电动机模块集成在一起（即整流与逆变于一体），有模块型和机架型两种型式。具有强大定位功能的 S120 单轴驱动器既可实现通常的 V/F 控制和矢量控制，又可实现高精度、高性能的伺服控制；它不仅能驱动普通三相异步电动机，还能驱动异步/同步伺服电动机、扭矩电动机和直线电动机。通常，配置了 SINUMERIK 系统的数控机床经由适配器 CUA31 的 DRIVE－CLiQ 接口连接模块型功率模块 PM340，以用于单轴的速度和定位控制。

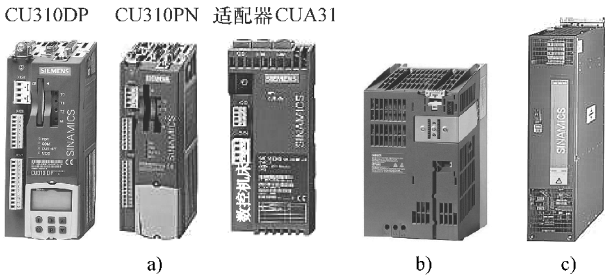


图 2-48　SINAMICS S120 单轴驱动器的组成
a）控制单元　b）模块式功率模块　c）机架式功率模块

（1）适配器 CUA31 的接口布置及连接　如图 2-49 所示。

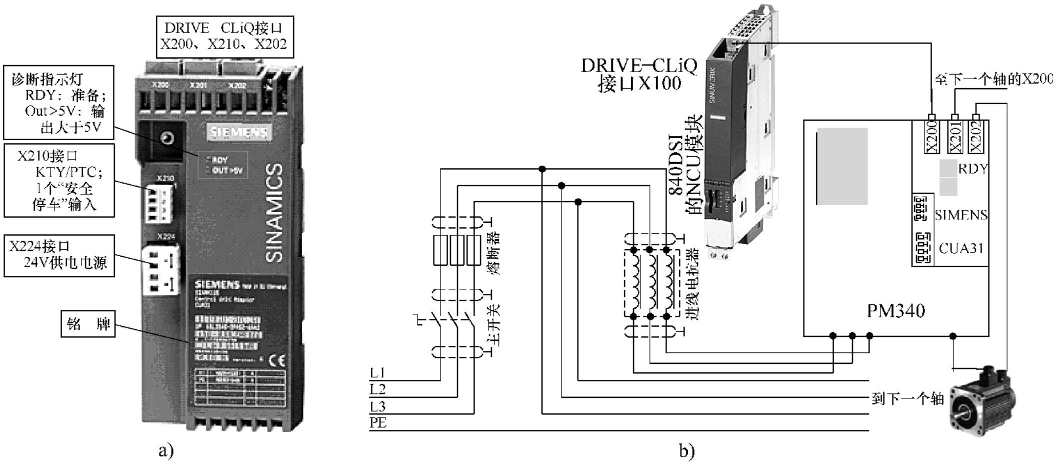


图 2-49　适配器 CUA31 的接口布置及连接
a）接口布置　b）功能连接

（2）模块型功率模块 PM340　如图 2-50 所示，PM340 的整流部分为二极管，其能量不能回馈至供电电网（TN、IT 或 TT）。PM340 依靠其内置的制动单元（选件）和外接制动电阻可实现电动机的快速制动，并能在安全转矩下停车。模块型功率模块的进线电压可选用三相 AC380～400V 或 1 相 AC200～240V，对应的功率范围分别为 0.37～90kW 和 0.12～0.75kW。目前有内置电源滤波器和不含电源滤波器两种规格。

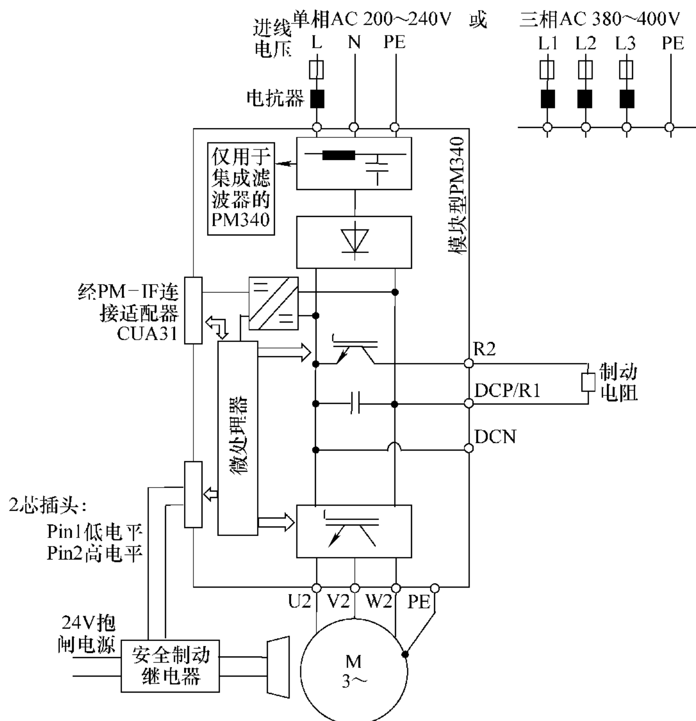


图 2-50　模块型功率模块的基本框图

2. SINAMICS S120 多轴驱动器

SINAMICS S120 多轴驱动器的结构型式为电源模块（PM）和电动机模块（MM，亦称逆变器/功率模块）各自独立，一个电源模块可将三相交流电整流为 540V 或 600V 的直流电，并将一个或多个电动机模块连接至该直流母线上。它具有各电动机轴间共享能量和接线简单方便的优点，在造纸、包装、纺织和印刷及钢铁等行业有着广泛地应用，尤其适用于数控机床的多轴控制。在配置了 SINUMERIK 系统的数控机床上，S120 多轴驱动器主要由网侧电源组件、控制单元、电源模块、电动机模块、直流组件和接口模块等组成。

（1）网侧电源组件　为防止电压的瞬时或持续升高，需在 S120 多轴驱动器的进线电路中加装与电源模块功率匹配的输入滤波器和整流电抗器等网侧电源组件（见图 2-51）。其中输入滤波器的作用是有效消除电波噪声（驱动器工作时产生的）对供电电网的干扰，整流电抗器的作用是将低频电源的扰动限制在允许值之内以保护 S120 驱动器。通常，输入滤波器与整流电抗器配合使用。当输入滤波器和整流电抗器以节约空间的叠放紧凑形式安装于电控柜时，需使用适配套件。

（2）控制单元　负责控制和协调 SINUMERIK 系统中所有的模块以完成各轴电流环、速度环甚至是位置环的控制，同时各轴之间的数据彼此可交换以实现同步控制。802Dsl 系统的 PCU210.3，828D 系统的 PPU，840Dsl 系统的 NCU720.2 和 NX10/NX15 模块以及 840Di sl 系统的 CU320（见图 2-52）等均可作为 S120 多轴驱动器的控制单元，并通过 DRIVE－CLiQ 接口实现相互间的通信。



电源模块		额定馈入功率/kW	输入滤波器(型号含整流电抗器)		整流电抗器	
类型	型号		型号	额定电流/A	型号	额定电流/A
非调节型	6SL3130-6AE15-0AA0	5	6SL3000-0GE15-0AA0	12	6SL3000-0CE15-0AA0	14
非调节型	6SL3130-6AE21-0AA0	10	6SL3000-0GE21-0AA0	24	6SL3000-0CE21-0AA0	28
调节型	6SL3130-7TE21-6AA1	16	6SL3000-0FE21-6AA0 (叠放紧凑安装形式选用的适配套件为 6SL3060-1FE21-6AA0)	30	6SN1111-0AA00-0BA1	30
调节型	6SL3130-7TE23-6AA1	36	6SL3000-0FE23-6AA0 (叠放紧凑安装形式选用的适配套件为 6SN1162-0GA00-0CA0)	36	6SN1111-0AA00-0CA1	67
调节型	6SL3130-7TE25-5AA1	55	6SL3000-0FE25-5AA0	55	6SN1111-0AA00-0DA1	103
调节型	6SL3130-7TE28-0AA0	80	6SL3000-0FE28-0AA0	80	6SN1111-0AA00-1EA0	150
调节型	6SL3130-7TE31-2AA0	120	6SL3000-0FE31-2AA1	120	6SL3000-0DE31-2BA0	225

d)

图 2-51　S120 多轴驱动器的网侧电源组件及技术参数

a）用于 ALM/SLM 的输入滤波器　b）用于 SLM 的整流电抗器

c）用于 ALM 的 HFD 电抗器　d）网侧电源组件的技术参数

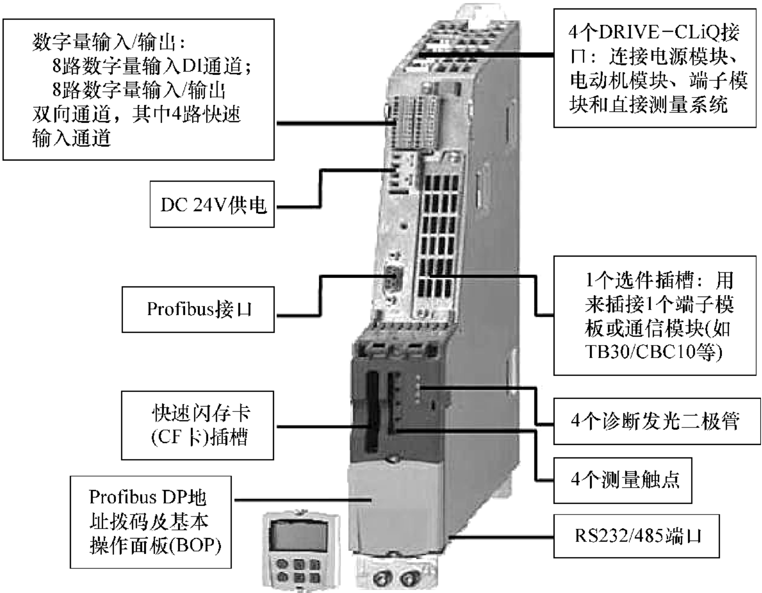
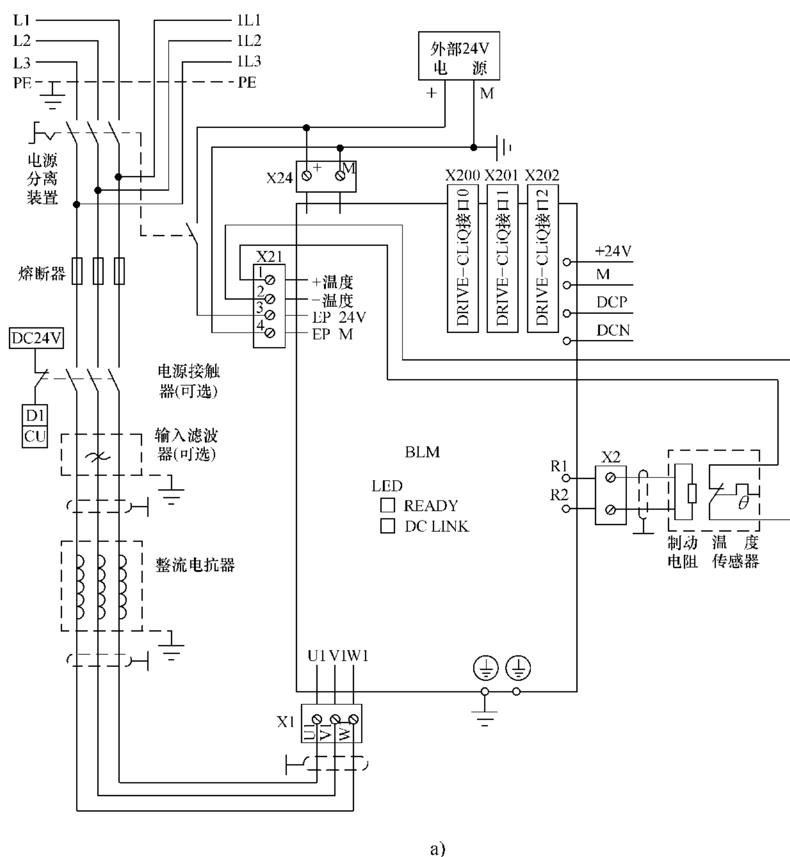


图 2-52　840Di sl 系统中 CU320 的接口布置

（3）电源模块　又称整流单元或回馈单元，它是将三相交流电整流成 540V 或 600V 直流电，再经由直流母线连接一个或多个电动机模块并为它们供电，带回馈功能的 PM 还可将直流母线上的再生能量（直流电）回馈给电网；它不仅采用馈能制动方式，使用时还需配置与 PM 功率相匹配的整流电抗器（供电电网与 PM 之间）；它特别适用于数控机床的多轴控制。根据是否带回馈功能及回馈方式的不同，可将电源模块分为基本型、非调节型/智能型和调节型/主动型三种。

1）基本型电源模块（BLM）：该模块带整流单元但无回馈功能，唯有连接制动单元和制动电阻才能实现快速制动。BLM 有功率为 20kW/40kW/100kW 的书本型和 200kW/250kW 的装机装柜型两种型式（见图 2-53），其中书本型 BLM 有内部风冷和冷板两种规格，装机装柜型 BLM 有供电电压为 AC380～480V 和 AC660～690V 两种规格。

2）非调节型/智能型电源模块（SLM，见图 2-54）：该模块带整流回馈单元［用二极管整流桥对输入电源进行整流，用绝缘栅双极型晶体管（IGBT）实现稳定的换向反馈］但直流母线的电压不可调节；它不仅将三相 AC380～480V 整流成直流电，还可将直流母线上的再生能量回馈给电网。5kW/10kW 的 SLM 不仅通过端子 X22.2 选择是否进行能量回馈，还通过端子进行控制（见图 2-54a）。16kW/36kW 的 SLM 不仅通过参数选择是否进行能量回馈，还通过 DRIVE－CLiQ 与控制单元进行通信并接收其控制信息（见图 2-54b）。对不允许回馈再生能量的供电电网，可连接制动单元和制动电阻实现快速制动。SLM 可提供的功率为 5～36kW，其中 36kW 的 SLM 最



a)

图 2-53　书本型 BLM 模块的接线图

a）20kW/40kW 的 BLM 模块接线图

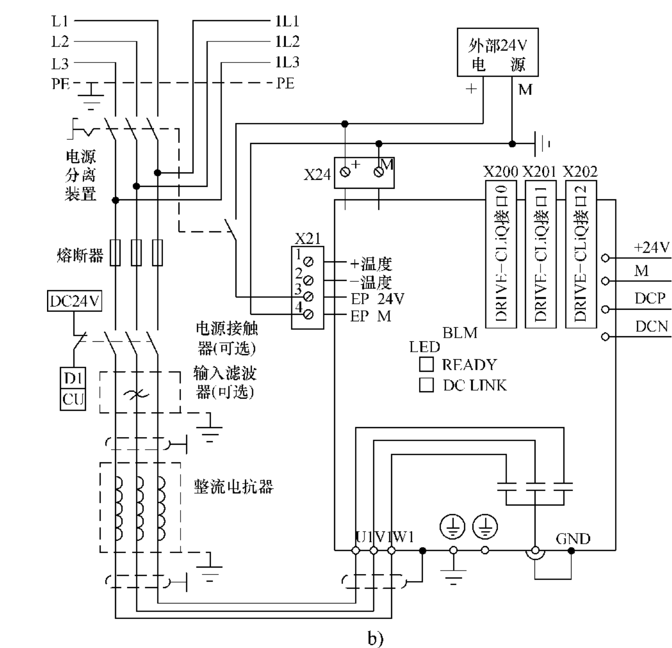


图 2-53　书本型 BLM 模块的接线图（续）

b）100kW 的 BLM 模块接线图

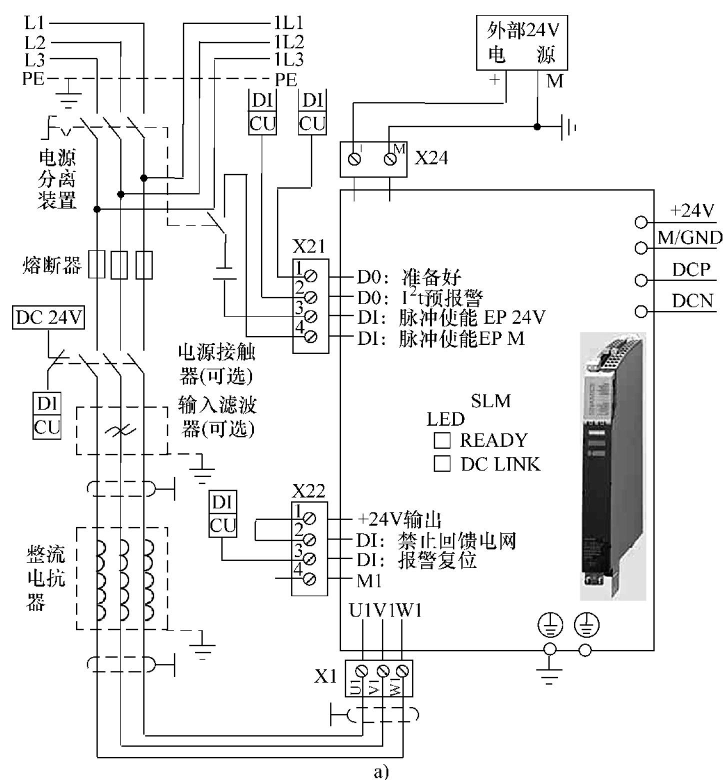
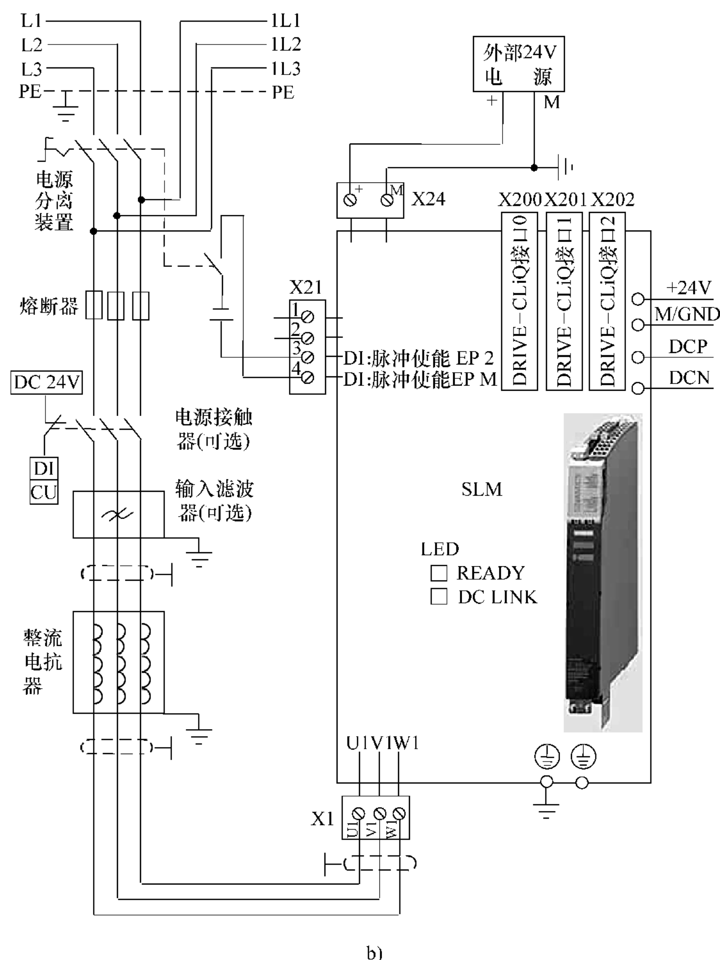


图 2-54　SLM 模块的接线图

a）5kW/10kW 的 SLM 模块接线图



b)

图 2-54 SLM 模块的接线图（续）

b）16kW/36kW 的 SLM 模块接线图

好加装输入滤波器以消除电波噪声对供电电网的干扰。标准 SLM 可提供 1 个电源输入接口（带集成屏蔽连接板的插入式螺钉型端子），1 个经 24V 端子适配器进行连接的电子电源接口，2 个经集成直流链路母线连接的直流链路接口，2 路数字量输入和 1 路数字量输出及 2 个 PE（保护性接地）接口，并通过 2 个多色指示灯 READY 和 DC－LINK 显示 SLM 的工作状态。

3）调节型/主动型电源模块（ALM）：该模块为配置了升压变频器的自控整流/再生单元（馈入和再生方向上均有 IGBT），它可产生一个增高的闭环控制的可调直流链路电压（即直流母线电压）使所连接的电动机模块不受电网波动的影响，这是 ALM 区别于 BLM 和 SLM 的一个显著特点；对不允许回馈再生能量的供电电网，可连接制动单元和制动电阻实现快速制动；ALM 通过 DRIVE－CLiQ 与控制单元进行通信并接收其控制信息。ALM 有书本型和装机装柜型两种型式（见图 2-55），其中书本型 ALM 的供电电压为三相 AC380～480V，可提供的功率为 16～120kW；装机装柜型 ALM 的供电电压为三相 AC380～480V 或三相 AC660～690V 两种规格，彼此可提供的功率分别为 132～900kW 和 560～1400kW。通常，16kW、36kW、55kW、80kW 和 120kW 的书本型 ALM 及装机装柜型 ALM 要与集成了滤波器、预充电回路和电网电压检测电路的主动接口模块（AIM，见图 2-56）一起使用，并将 AIM 装在电网和 ALM 之间。对功率大于等于 36kW 的 ALM 必须加装与之相配的输入滤波器以消除电波噪声对供电电网的干扰。

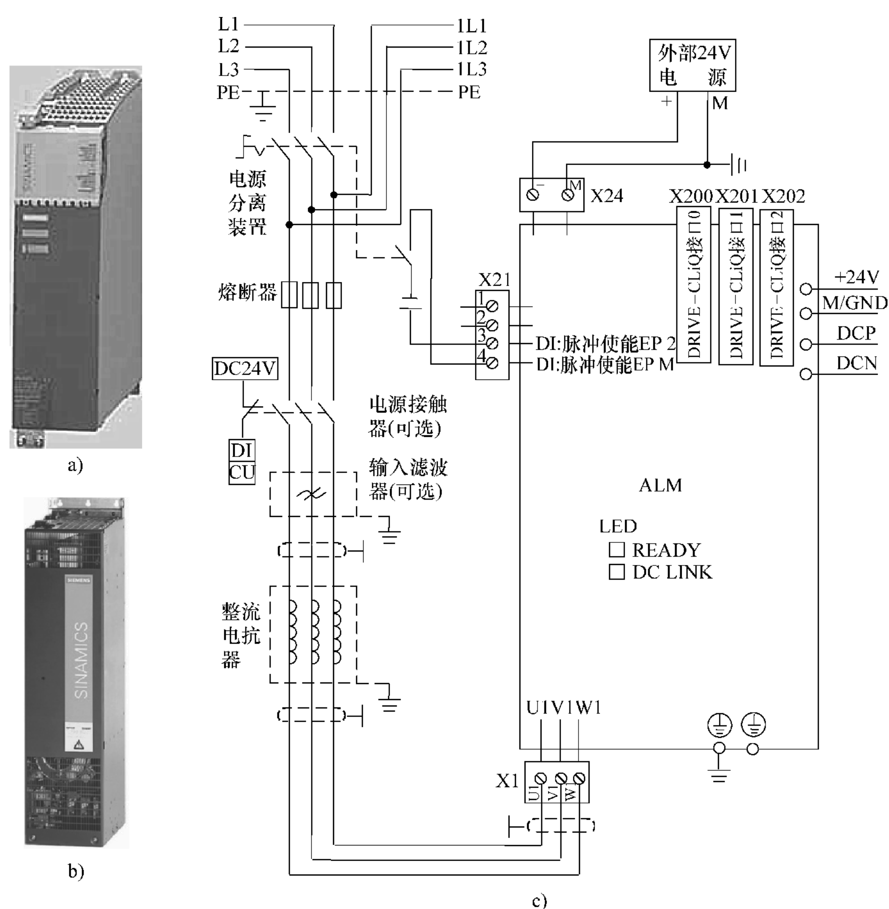


图 2-55　主动型电源模块 ALM 的分类及其接线图

a）书本型 ALM　b）装机装柜型 ALM　c）16～120kW 书本型 ALM 的接线图

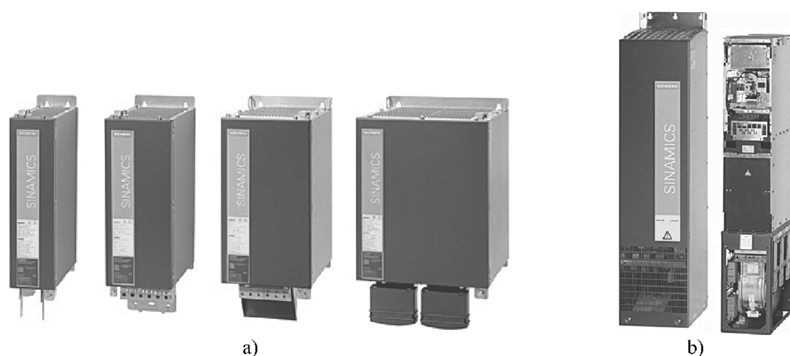


图 2-56　与不同规格 ALM 模块配套使用的主动接口模块

a）16/36/55/80/120kW 书本型 ALM 的主动接口模块　b）装机装柜型 ALM 的主动接口模块

（4）电动机模块（MM）　又称逆变单元或功率模块，它是将 540V 或 600V 的直流电逆变成驱动伺服电动机工作的三相交流电，并通过 DRIVE－CLiQ 与控制单元实现快速数据的交换。由于电动机模块内置有电源模块，故它可单独使用。目前，电动机模块有书本型和装机装柜型两种型式（见图 2-57），其中书本型 MM 又有额定电流为 3～200A 的单轴模块和额定电流为 3～18A 的双轴模块两种规格，它们均可在 SLM 电源模块或 ALM 电源模块上运行；而装机装柜型有额定电流分别为 210～1405A（电网电压 AC380～480V）和 85～1270A（电网电压 AC500～690V）两种规格。

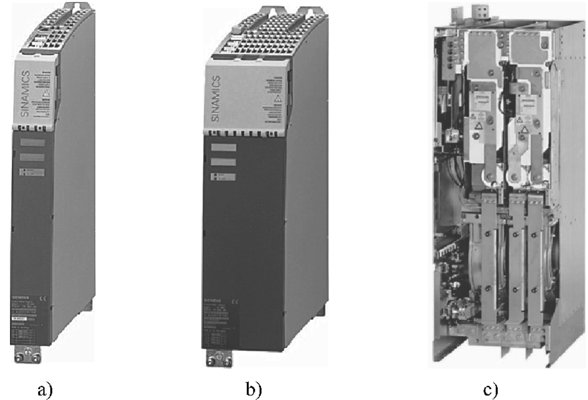
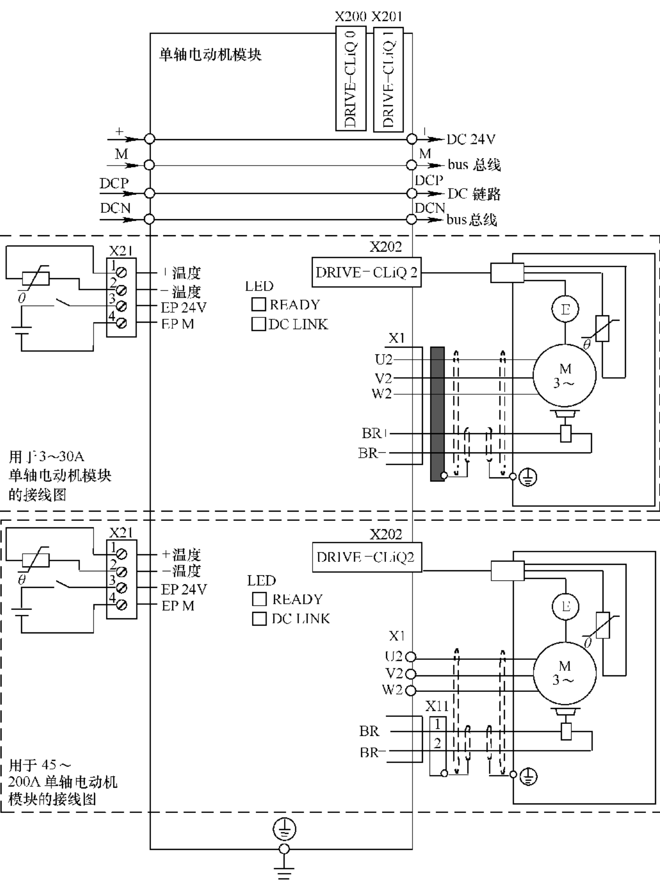


图 2-57 S120 多轴驱动器电动机模块的分类
a）书本型单轴 MM b）书本型双轴 MM c）装机装柜型单轴 MM

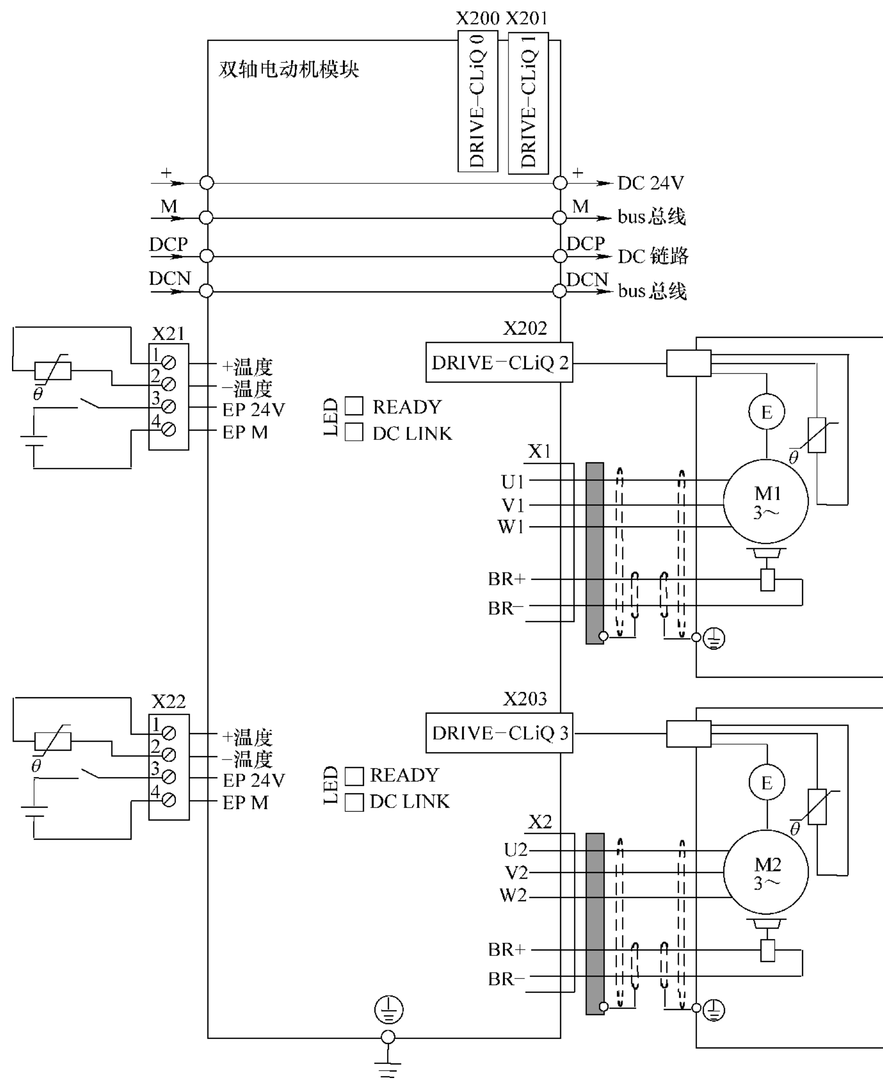
1）书本型单轴电动机模块（见图 2-58）：标准书本型单轴电动机模块可提供 2 个经集成直流链路母线连接的直流链路接口，1 个经 24V 直流母线连接的电子电源接口，3 个 DRIVE－CLiQ 插座，1 个插入式或螺柱连接式电动机接口（据额定输出电流大小进行选择），2 个用于安全停机使能脉冲输入的端子，1 个安全电动机制动控制器和 1 个 KTY84－130 型温度传感器输入接口以及 2 个 PE（保护性接地）接口。其中接口 X21 上的端子 1 和 2 连接无 DRIVE－CLiQ 接口的电动机温度传感器信号，端子 3 和 4 为脉冲使能以使电动机模块正常工作（端子 3 接＋24V，端子 4 接 24V 地）。另外，单轴电动机模块可通过 2 个多色指示灯 READY 和 DC－LINK 显示自身的工作状态。



书本型单轴电动机模块的技术参数				
MM额定输出电流/A	额定功率/kW	直流链路电压范围/V	电动机连接U2、V2、W2	型　号
3	1.6	510～750	插入式连接器X1	6SL3120－1TE13－0AA0
5	2.7	510～750	插入式连接器X1	6SL3120－1TE15－0AA0
9	4.8	510～750	插入式连接器X1	6SL3120 1TE21－0AA1
18	9.7	510～750	插入式连接器X1	6SL3120－1TE21－8AA1
30	16	510～750	插入式连接器X1	6SL3120－1TE23 0AA1
45	24	510～750	M6螺柱连接X1	6SL3120－1TE24－5AA1
60	32	510～750	M6螺柱连接X1	6SL3120－1TE26－0AA1
85	46	510～750	M8螺柱连接X1	6SL3120－1TE28 5AA1
132	71	510～750	M8螺柱连接X1	6SL3120－1TE31 3AA0
200	107	510～750	M8螺柱连接X1	6SL3120－1TE32 0AA0

图 2-58 书本型单轴电动机模块的接线图及其技术参数

2）书本型双轴电动机模块（见图 2-59）：标准书本型双轴电动机模块可提供2 个经集成直



书本型双轴电动机模块的技术参数				
MM额定输出电流/A	额定功率/kW	直流链路电压范围/V	电动机连接U2、V2、W2	型　　号
2×3	2×1.6	510～750	2个插入式连接器X1、X2	6SL3120−2TE13−0AA0
2×5	2×2.7	510～750	2个插入式连接器X1、X2	6SL3120−2TE15−0AA0
2×9	2×4.8	510～750	2个插入式连接器X1、X2	6SL3120−2TE21−0AA0
2×18	2×9.7	510～750	2个插入式连接器X1、X2	6SL3120−2TE21−8AA0

图 2-59　书本型双轴电动机模块的接线图及其技术参数

流链路母线连接的直流链路接口，2 个经 24V 直流母线连接的电子电源接口，4 个 DRIVE－CLiQ 插座，2 个插入式电动机接口，4 个用于安全停机输入的端子（每轴 1 个输入端），2 个安全电动机制动控制器和 2 个 KTY84－130 型温度传感器输入接口以及 3 个 PE（保护性接地）接口。其中接口 X21 上的端子 1 和 2 连接无 DRIVE－CLiQ 接口的电动机温度传感器信号，端子 3 和 4 为脉冲电能以使电动机模块正常工作（端子 3 接＋24V，端子 4 接 24V 地）。另外，双轴电动机模块与单轴电动机模块类似，也是通过 2 个多色指示灯 READY 和 DC－LINK 显示自身的工作状态。

（5）直流组件　包含制动模块、制动电阻、电容模块和控制供电模块等。

1）制动模块及制动电阻（见图 2-60）：在机床控制信号输入失败的情况下，通过连接制动模块（内含功率电子器件及相应控制电路）和制动电阻，不仅可控制 S120 多轴驱动器停止运转（如紧急回位），还可限制短时再生反馈过程中的直流链路电压（如电源模块反馈功能被取消或参数选择不够充分时）。数控机床运转时，驱动器直流链路中的多余能量将通过装在电控柜外部的制动电阻转变为热量后释放掉（即产生的热量排放至电控柜之外）。标准书本型制动模块可提供 2 个经集成直流链路母线连接的直流链路接口，2 个经 24V 直流母线连接的电子电源接口，2 个制动电阻接线端子，2 路－3～30V 的数字量输入（制动模块去能或确认故障并使直流链路快速放电）和 2 路 DC24V/100mA 的数字量输出（制动模块去能和预警监控）以及 2 个 PE（保护性接地）接口。其中接口 21 上端子 1 为 0 制动模块使能，为 1 禁止模块工作，由 1 变 0 时复位故障；端子 2 为 0 制动模块未手动激活，为 1 模块手动激活（快速放电），端子 1 的优先级高于端子 2；端子 3 为 0 没有 I^2t 预报警，为 1 则 I^2t 预报警；端子 4 为 0 制动模块存在故障，为 1 则模块准备好；若制动功率不够，可并联多个制动模块，但必须连接与其对应的制动电阻；书本型制动模块的型号 6SL3100－1AE31－0AA0，额定功率为 1.5kW；额定功率/峰值功率为 0.3kW/25kW 和 1.5kW/100kW 的书本型制动电阻型号分别为 6SN1113－A1100－0DA0 和 6SN3100－1BE31－0AA0。另外，制动模块可通过 2 个双色 LED 显示自身的工作状态。

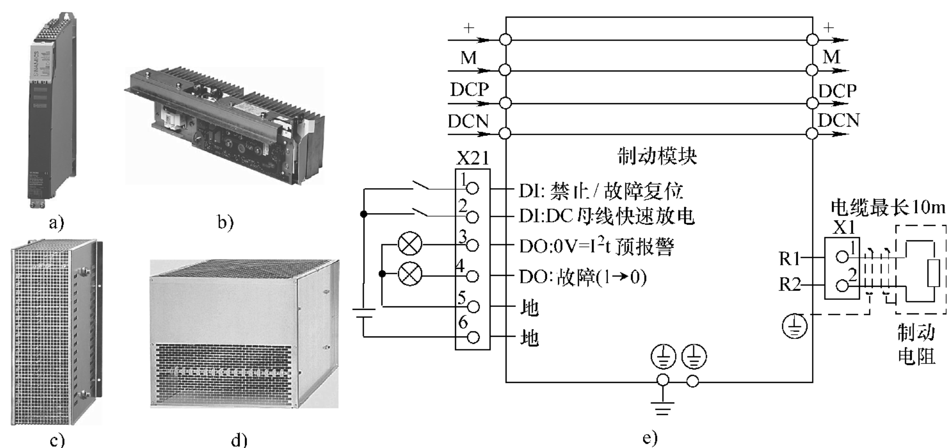


图 2-60　制动模块和制动电阻的实物及接线图

a）书本型制动模块　b）装机装柜型制动模块　c）书本型制动电阻
d）装机装柜型制动电阻　e）书本型制动模块和制动电阻的接线图

2）电容模块（见图 2-61a）：数控机床通过集成直流链路母线连接的书本型电容模块，能够自动工作并可提高驱动器直流链路的电容进而弥补机床供电的瞬间断电。标准书本型电容模块可提供 2 个经集成直流链路母线连接的直流链路接口和 2 个 PE（保护性接地）接口。

3）控制供电模块（见图 2-61b）：使用控制供电模块可为驱动器的直流链路提供 DC24V 电源，以确保驱动器在机床断电后的一小段时间内仍保持有效进而实现伺服轴在紧急情况下自动回

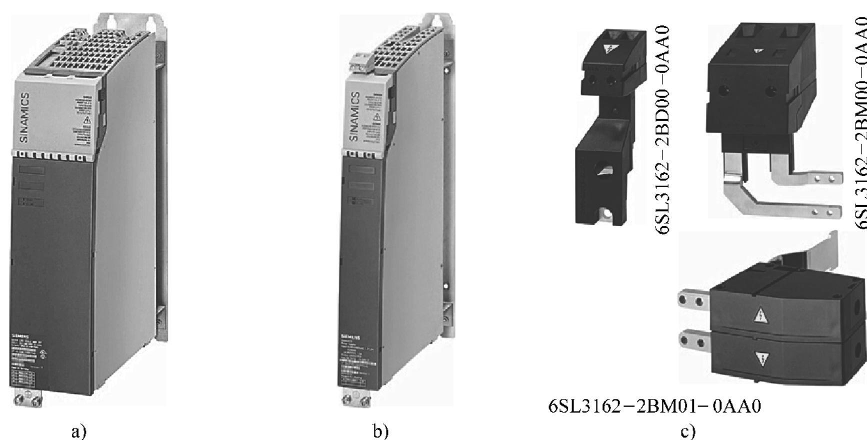


图 2-61　电容模块等直流组件的实物
a）书本型电容模块　b）书本型控制供电模块　c）直流链路电源适配器

退等特殊要求；这与611D驱动系统中“电源模块上X181接口的P500/M500分别与其直流母线端子P600/M600进行连接”的目的相同。标准书本型控制供电模块可提供1个电源接口，2个经集成直流链路母线连接的直流链路接口，2个经24V直流母线连接的电子电源接口，1个经24V端子适配器（最大熔断电流20A）连接控制器、终端模块或传感器模块的电子电源接口，2个PE（保护性接地）接口；该模块的工作状态可通过2个多色LED（RDY和DC－LINK）来显示。

另外，机床可以不经电动机模块的直流链路母线提供链路电压，而是通过1个直流链路电源适配器（6SL3162－2BD00－0AA0或6SL3162－2BM00－0AA0，见图2-61c）从外部馈入链路电压；此时需将直流链路电源适配器安装在电动机模块的直流链路母线上，直流链路电缆自上方引入。当机床使用多层构造的电动机模块时，可通过1个直流链路电源适配器套件（6SL3162－2BM01－0AA0，见图2-61c）连接2个驱动组的直流链路；此时直流链路电源适配器应安装在每个驱动组中最右边电动机模块的直流链路母线上，且直流链路电缆自下方引入。

（6）接口模块　S120多轴驱动器的常用接口模块如图2-62所示。

3. 用于紧凑型机床的SINAMICS S120 Combi驱动器

SINUMERIK 828D是西门子公司专门针对紧凑型机床开发的一款基于操作面板的紧凑型数控系统，目前主要包含两个版本：一是用于车削工艺和钻铣工艺的BASIC T车床系统，二是用于钻铣工艺和在圆柱形工件上加工的BASIC M铣床系统。为了充分发挥828D车床和铣床的优异性能以使用户在最短时间内获得镜面般光滑的工件表面质量，西门子公司将SINAMICS S120 Combi驱动器（简称S120 Combi）与828D系统和SINAMICS电动机（1FK7进给电动机和1PH8主轴电动机）进行了完美的结合（见图2-63）。通常，S120 Combi由网侧电源组件、功率模块、扩展轴电动机模块（不超过2轴的S120紧凑书本型电动机模块）和附加系统组件及编码器系统组件等组成。

（1）网侧电源组件　与S120多轴驱动器类似，需要在S120 Combi的进线电路中加装与功率模块匹配的输入滤波器（可选件）和整流电抗器等网侧电源组件（见图2-64），以防止瞬时或持续升高的电压影响机床的正常工作。其中输入滤波器的作用是有效消除电波噪声（驱动器工作时产生的）对供电电网的干扰，整流电抗器的作用是将低频电源的扰动限制在允许值之内以保护驱动器；通常输入滤波器与整流电抗器配合使用。

模块名称	TM31端子模块	TM41端子模块	TM15端子模块	SMC10编码器转换模块
模块实物				
型号	6SL3055-0A00-3AA1	6SL3055-0AA00-3PA1	6SL3055-0AA00-3FA0	6SL3055-0AA00-5AA0
功能	扩展I/O模块	扩展I/O模块及 TTL编码器输出接口	扩展I/O模块 带指示灯显示	将2极或多极的Resolver信号 转换为DRIVE-CLiQ信号
特征	1) 经DRIVE-CLiQ连接SINUMERIK系统 2) 8路数字量输入 3) 4路双向数字量输入/输出 4) 2路数字量输出(继电器) 5) 2路模拟量输入 6) 2路模拟量输出 7) 1路温度传感器输入PTC或KTY84-130 8) 2个DRIVE-CLiQ接口	1) 经DRIVE-CLiQ连接SINUMERIK系统 2) 4路数字量输入 3) 4路双向数字量输入/输出 4) 1路模拟量输入 5) 1个TTL编码器模拟输出接口 6) 2个DRIVE-CLiQ接口	1) 经DRIVE-CLiQ连接SINUMERIK系统 2) 24路双向数字量输入/输出 3) 24个状态显示灯以监控数字量信号 4) 2个DRIVE-CLiQ接口	1) 当电动机不带DRIVE-CLiQ接口或除电动机编码器外还安装其他外部编码器时，使用该模块；经DRIVE-CLiQ与控制单元通信 2) 处理2极或多极Resolver信号 3) 15针编码器接口，内含温度传感器信号；有1个24V DC电源连接器；编码器与SMC10间连接电缆不超过130m

模块名称	SMC20编码器转换模块	SMC30编码器转换模块	SME20/SME25 外部安装的编码器转换模块	SME120/SME125 外部安装的编码器转换模块
模块实物				
型号	6SL3055-0AA00-5BA3	6SL3055-0AA00-5CA2	SME20：6SL3055-0AA00-5EA3 SME25：6SL3055-0AA00-5HA3	SME120：6SL3055-0AA00-5JA3 SME125：6SL3055-0AA00-5KA3
功能	将1Vpp Sin/Cos或EnDat增量信号转变为DRIVE-CLiQ信号	将TTL或HTL信号 转变为DRIVE-CLiQ信号	将外接1Vpp Sin/Cos或EnDat的增量编码器信号 转变为DRIVE-CLiQ信号	
特征	1) 当电动机不带DRIVE-CLiQ接口或除电动机编码器外还安装直接定位测量的外部编码器时，使用该模块；经DRIVE-CLiQ与控制单元通信 2) 用于增量式编码器Sin/Cos 1Vpp和绝对值编码器EnDat的信号处理 3) 15针的编码器接口，内含温度传感器信号；有1个24V DC电源连接器；编码器与SMC20间连接电缆不超过130m	1) 当电动机不带DRIVE-CLiQ接口或除电动机编码器外还安装其他外部编码器时，使用该模块；经DRIVE-CLiQ与控制单元通信 2) 用于HTL/TTL编码器(推荐使用HTL双极信号)和SSI编码器(HTL/TTL信号)的信号处理 3) 15针编码器接口内含温度传感器信号；双极TTL、单极HTL和双极HTL编码器与SMC30间连接电缆长度分别不超过100m、100m和300m	1) 用于直接测量系统的信号处理，可装在电控柜外部并靠近直接测量系统处；经DRIVE-CLiQ与控制单元通信 2) SME20用于增量Sin/Cos 1Vpp信号处理，没有C/D信号 3) SME25用于绝对值编码器EnDat和带Sin/Cos 1Vpp增量信号的SSI绝对值编码器的信号处理 4) SME20为12针圆形插头，SME25为17针圆形插头	1) 适用于直线电动机和力矩电动机，可靠近机床电动机侧和编码器侧安装；可对编码器信号、电动机温度传感器和经DRIVE-CLiQ获得的转换信息进行处理。电动机和编码器的数据存在SME120/125中 2) 在控制单元(固件版本V2.4及以上)上直接进行操作 3) SME120用于增量Sin/Cos 1Vpp信号处理；SME125用于绝对值编码器EnDat和带Sin/Cos 1Vpp增量信号的SSI绝对值编码器信号处理

图 2-62 S120 多轴驱动器的常用接口模块

（2）功率模块 S120 Combi 作为适用于紧凑型机床的一种新型驱动系统，它已将具有再生反馈能力的电源模块以及用于主轴和进给电动机的 3 轴或 4 轴电动机模块集成在一个单独的功率模块中（见图 2-65）。

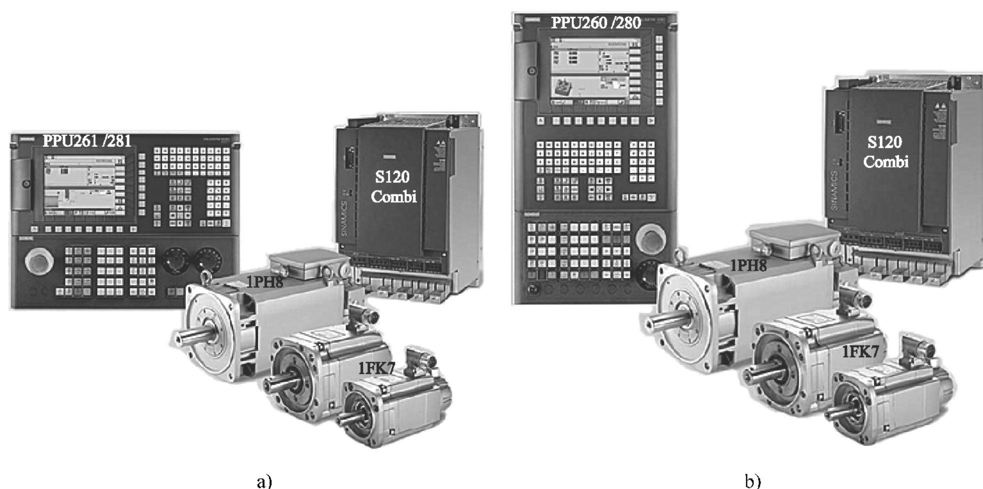


图 2-63　SINAMICS S120 Combi 驱动器的应用
a）828D BASIC T 车床系统　b）828D BASIC M 铣床系统

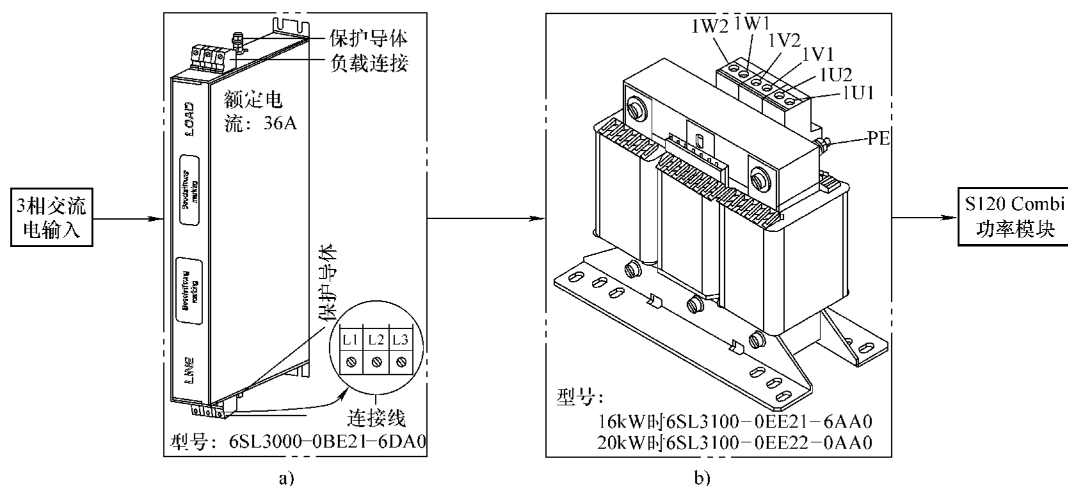
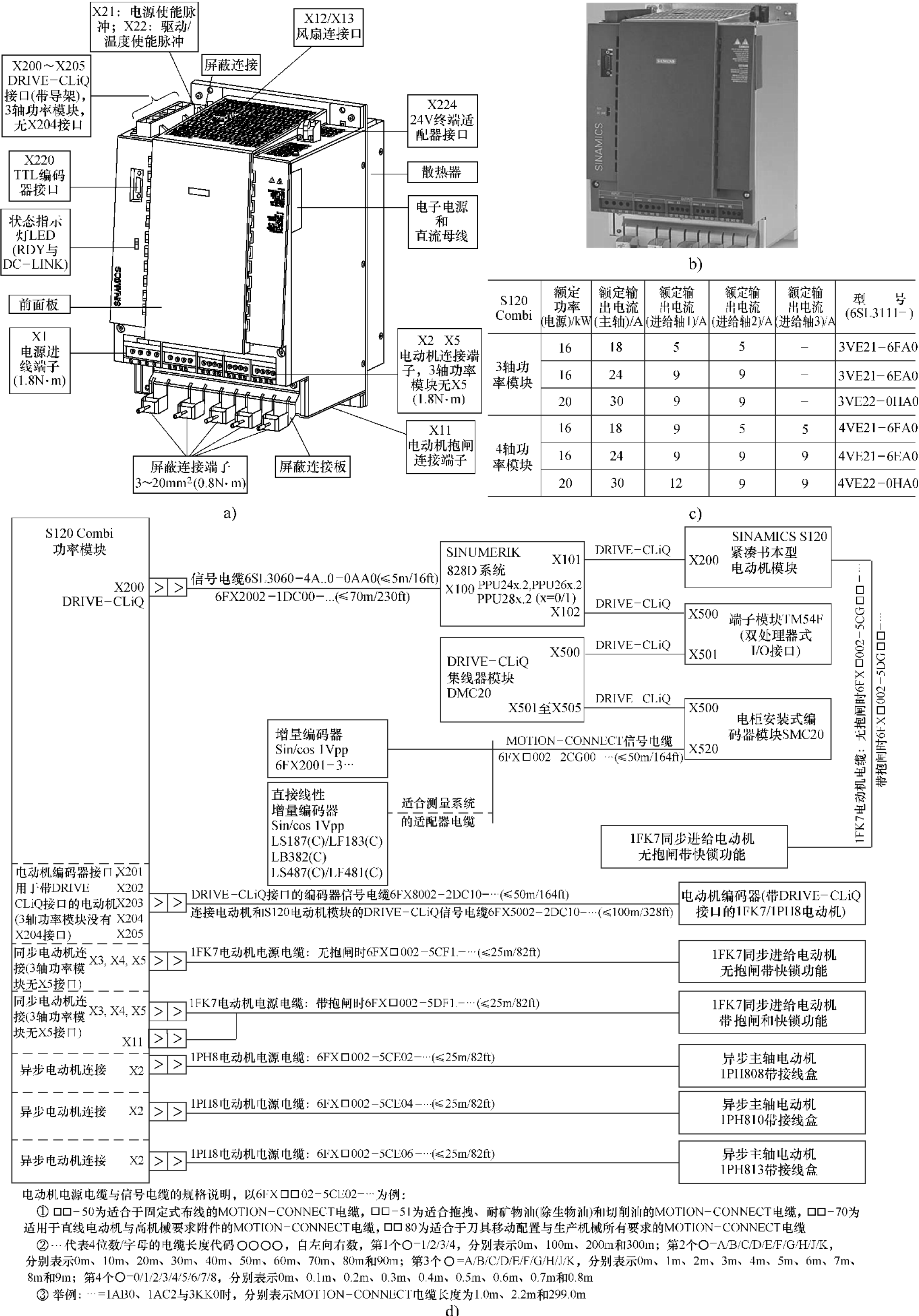


图 2-64　S120 Combi 的网侧电源组件及其连接
a）输入滤波器　b）整流电抗器

1）S120 Combi 功率模块既可经由 DRIVE－CLiQ 信号电缆（接口 X200）连接 828D 系统（还可使用 S120 多轴驱动器进行驱动控制），也可通过带 SPEED－CONNECT 连接器的电源电缆（连接端子 X2～X5）连接 3 台或 4 台主轴/进给电动机；既可经由带 DRIVE－CLiQ 接口的编码器信号电缆（接口 X201～X205）连接 3 个或 4 个电动机编码器，也可通过 DRIVE－CLiQ 集线器模块 DMC20（接口 X501～X505）连接 3 个或 4 个直接位置检测装置；既可经由 TTL 编码器接口 X220 直接连接 TTL 型直接主轴编码器，也可通过电柜安装式编码器模块 SMC20 连接 sin/cos 1Vpp 编码器以检测主轴的位置；既可经由电动机抱闸端子 X11 控制一台电动机（单轴）的抱闸，也可通过直流母线和 DC24V 母线连接不超过 2 个轴的 S120 紧凑书本型电动机模块以满足机床伺服轴的控制要求；既可经由使能脉冲端子 X21 实现机床主电源的安全停机输入，也可通过温度使能脉冲端子 X22 上 1/2 和驱动使能脉冲端子 X22 上 3/4 分别实现主轴温度传感器信号的输入（KTY84－



S120 Combi	额定功率(电源)/kW	额定输出电流(主轴)/A	额定输出电流(进给轴1)/A	额定输出电流(进给轴2)/A	额定输出电流(进给轴3)/A	型号(6SL3111-)
3轴功率模块	16	18	5	5	-	3VE21-6FA0
	16	24	9	9	-	3VE21-6EA0
	20	30	9	9	-	3VE22-0HA0
4轴功率模块	16	18	9	5	5	4VE21-6FA0
	16	24	9	9	9	4VE21-6EA0
	20	30	12	9	9	4VE22-0HA0

图 2-65　S120 Combi 功率模块（3～4 轴）的接口布置及连接

a）S120 Combi 4 轴功率模块的接口布置　b）S120 Combi 功率模块的实物

c）S120 Combi 功率模块的技术参数　d）S120 Combi 功率模块的接线图

130 或 PTC）和主轴/进给轴的安全停机输入。S120 Combi 功率模块不仅可满足功率为 16kW 或 20kW 的主轴驱动要求，还可最大提供 12A 的额定输出电流来实现进给电动机的控制。

2）外部风扇模块：S120 Combi 功率模块需要通过加固板安装最大风量为 290m^3/h 的外部风扇模块（见图 2-66），以确保低电压或散热片轻微污损时穿过散热片的风量至少达到 160m^3/h，从而使功率模块获得极佳的冷却效果。为保证机床的最大可用性，外部风扇模块配备了反极性保护、防阻转和过载保护系统并对风扇转速进行监控，一旦风扇停转系统将出现用户报警。

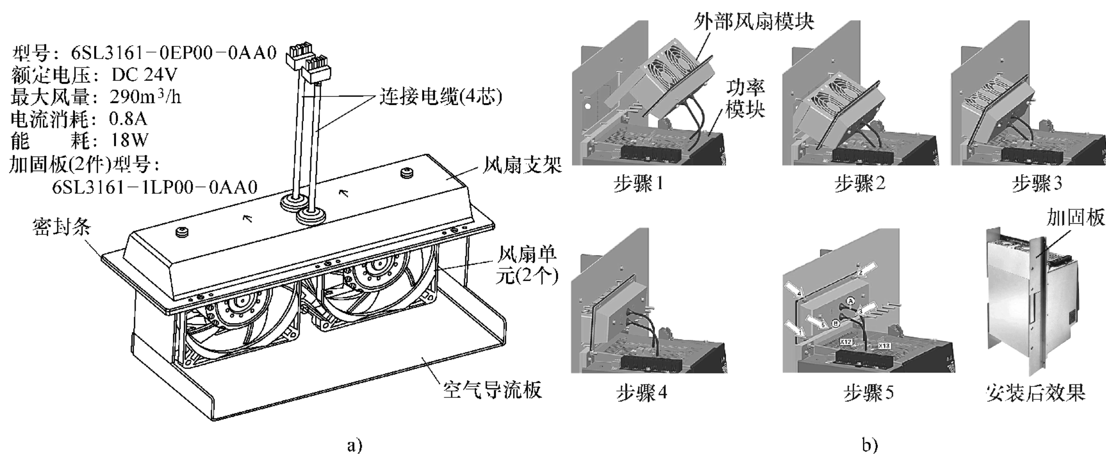


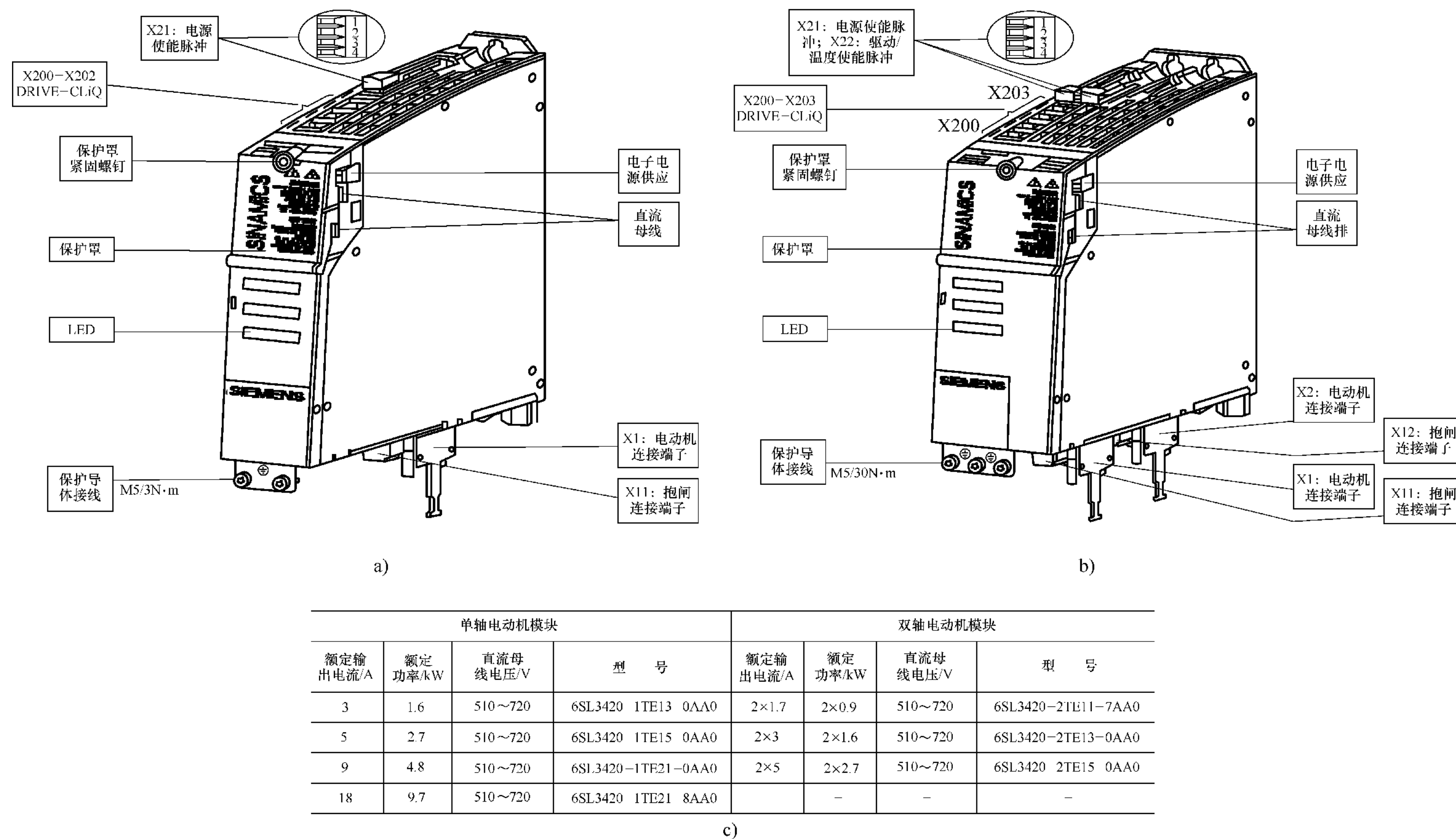
图 2-66　S120 Combi 功率模块上外部风扇模块的安装
a）外部风扇模块的组成　b）外部风扇模块的安装顺序

（3）扩展轴电动机模块　S120 Combi 功率模块通过直流母线和 DC24V 母线可连接不超过 2 个轴的 S120 紧凑书本型电动机模块，以满足机床伺服轴的控制要求。根据控制进给轴数的多少，可将 S120 紧凑书本型电动机模块分为单轴电动机模块和双轴电动机模块（见图 2-67）。经由 DRIVE－CLiQ 接口，可在一个驱动组中轻松地实现最多 6 根轴/主轴 1、6 个电动机编码器和 6 个直接编码器（其中 5 个经 DMC20 连接，1 个接在 S120 Combi 功率模块上）的控制。

1）单轴电动机模块：标准配置为 2 个经集成直流链路母线连接的直流母线接口，1 个经 24V 直流母线连接的电子电源接口，3 个 DRIVE－CLiQ 接口（X200～X202），1 个电动机接口（X1），1 个用于安全停机输入的电源使能脉冲端子 X21 和 1 个安全电动机抱闸控制器（X11）以及 2 个 PE（保护性接地）端子。该类型电动机模块可通过 2 个多色 LED（RDY 和 DC－LINK）显示自身的工作状态。

2）双轴电动机模块：标准配置为 2 个经集成直流链路母线连接的直流母线接口，2 个经 24V 直流母线连接的电子电源接口，4 个 DRIVE－CLiQ 接口（X200～X203），2 个电动机接口（X1、X2），2 个用于安全停机输入的电源使能脉冲端子（每轴 1 路）和 2 个安全电动机抱闸控制器（X11、X12）以及 3 个 PE（保护性接地）端子。该类型电动机模块也可通过 2 个多色 LED（RDY 和 DC－LINK）显示自身的工作状态。

（4）S120 Combi 驱动器的附加系统组件和编码器系统组件　如图 2-68 所示。



单轴电动机模块				双轴电动机模块			
额定输出电流/A	额定功率/kW	直流母线电压/V	型　号	额定输出电流/A	额定功率/kW	直流母线电压/V	型　号
3	1.6	510～720	6SL3420 1TE13 0AA0	2×1.7	2×0.9	510～720	6SL3420−2TE11−7AA0
5	2.7	510～720	6SL3420 1TE15 0AA0	2×3	2×1.6	510～720	6SL3420−2TE13−0AA0
9	4.8	510～720	6SL3420−1TE21−0AA0	2×5	2×2.7	510～720	6SL3420 2TE15 0AA0
18	9.7	510～720	6SL3420 1TE21 8AA0		–	–	–

c)

图 2-67　S120 紧凑书本型电动机模块的接口布置及其技术参数

a）单轴电动机模块　b）双轴电动机模块　c）S120 紧凑书本型电动机模块技术参数

模块名称	TM54F端子模块	DMC20 DRIVE-CLiQ集线器模块	SMC20编码器转换模块
模块实物			
型号	6SL3055-0AA00-3BA0	6SL3055-0AA00-6AA0	6SL3055-0AA00-5BA3
功能	双处理器式I/O模块	连接直接位置检测装置	将1Vpp Sin/Cos或EnDat增量信号转变为DRIVE-CLiQ信号
特征	1) 经DRIVE-CLiQ连接SINUMERIK 828D等控制单元，且1个控制单元仅可连接1个TM54F模块；执行多个驱动的安全功能时828D控制单元必须分组执行，相关驱动在TM54F模块中进行编组，如此只需为这些驱动连接1个故障安全数字量输入即可 2) 标准配置的接口：4路故障安全数字量输出，10路故障安全数字量输入，4个单色LED显示故障安全数字量输出的回读通道状态，4个双色LED显示故障安全数字量输入的状态，20个双色LED显示故障安全数字量输入的状态，3个单色LED显示24V传感器电源的状态，2个DRIVE-CLiQ接口，2个可切换式24V安全传感器电源接口对故障安全数字量输入进行故障检测(如关机信号路径)，1个不可切换式24V传感器电源接口连接不可动态化的安全传感器，1个经由24V直流母线连接的电子电源接口 3) 经1个多色LED显示自身工作状态	1) 经其6个DRIVE-CLiQ接口(X500～X505)可连接5个 DRIVE-CLiQ设备 2) 1个经24V电源连接器连接的电子电源接口 3) 经1个多色LED显示自身工作状态	1) 当电动机不带DRIVE-CLiQ接口或除电动机编码器外还安装直接定位测量的外部编码器时，使用该模块；经DRIVE-CLiQ与控制单元通信 2) 用于增量式编码器Sin/Cos 1Vpp和绝对值编码器EnDat的信号处理 3) 标准配置的接口：1个DRIVE-CLiQ接口，1个15针编码器接口内含电动机温度传感器信号(KTY84-130或PTC热敏电阻检测)，1个经24V电源连接器连接的电子电源接口，1个PE(保护性接地)端子 4) 经1个多色LED显示自身工作状态

图 2-68　S120 Combi 驱动器的附加系统组件和编码器系统组件

注：带 TTL 信号的主轴编码器接在 S120 Combi 功率模块上。

2.2.2　SINAMICS S120 在 YKX3132M 型数控滚齿机上的应用

YKX3132M 型数控滚齿机（见图 2-69）是利用展成法（基于齿轮啮合原理进行齿轮加工的一种方法，加工时齿轮啮合副中的一件齿轮作为刀具——滚齿刀，另一件作为工件，彼此间作严格的啮合运动进而切出所需齿廓）进行直齿轮、螺旋齿轮（斜齿轮）和锥度齿轮及鼓形齿轮加工的 4 轴数控高效滚齿机，它不仅适用于重型汽车和工程机械等大批量齿轮加工的生产企业，还适合于小批量、多品种齿轮加工的生产企业。YKX3132M 型数控滚齿机涉及的传动链有：主运动传动——变频调速电动机 YP160M 控制刀具主轴做旋转运动，展成运动传动——滚齿刀与被加工齿轮间的啮合运动，轴向进给传动——交流伺服电动机 1FT6084 经齿轮副和蜗杆副带动滚珠丝杠螺母副实现刀架滑板/轴向滑座的 Z 向进给运动，径向进给传动——交流伺服电动机 1FK7042 经两级蜗轮副减速带动滚珠丝杠螺母副实现滚刀架/切向滑座的 Y 向窜刀运动，切向进给传动——交流伺服电动机 1FT6084 经齿轮副带动滚珠丝杠螺母副实现机床立柱/径向滑座的 X 向进给运动，以及用于斜齿轮加工的附加运动传动——交流伺服电动机 1FT6086 经差动机构实现 W 轴的差动运动（滚刀垂直移动工件的 1 个导程时工件相应附加转动 ±1r）。

YKX3132M 型数控滚齿机不仅选用集 NCK、S7－200PLC、HMI 和通信任务于一体的 SINUMERIK 802Dsl 操作面板控制系统，还配置集 V/F 控制、矢量控制和伺服控制于一体的模块化多轴驱动控制系统 SINAMICS S120，并通过 DRIVE－CLiQ 接口与 802Dsl 的 PCU 面板（带 10.4inTFT 彩色液晶超薄显示器和奔腾Ⅲ型 CPU 芯片）实现通信。该机床的 PCU 面板不仅通过 1 块 MCPA 模块选择配置了基于 MCP 802Dsl 的自制机床控制面板（下称 MCP），并经 MCPA 模块的 ±10V 接口（X701）连接了 1 根模拟量主轴以驱动刀具主轴旋转；还通过 Profibus－DP 接口（X6）与 1 块输入输出模块 PP72/48 实现 Profibus 总线通信以进行机床数字量输入输出信号的控制。

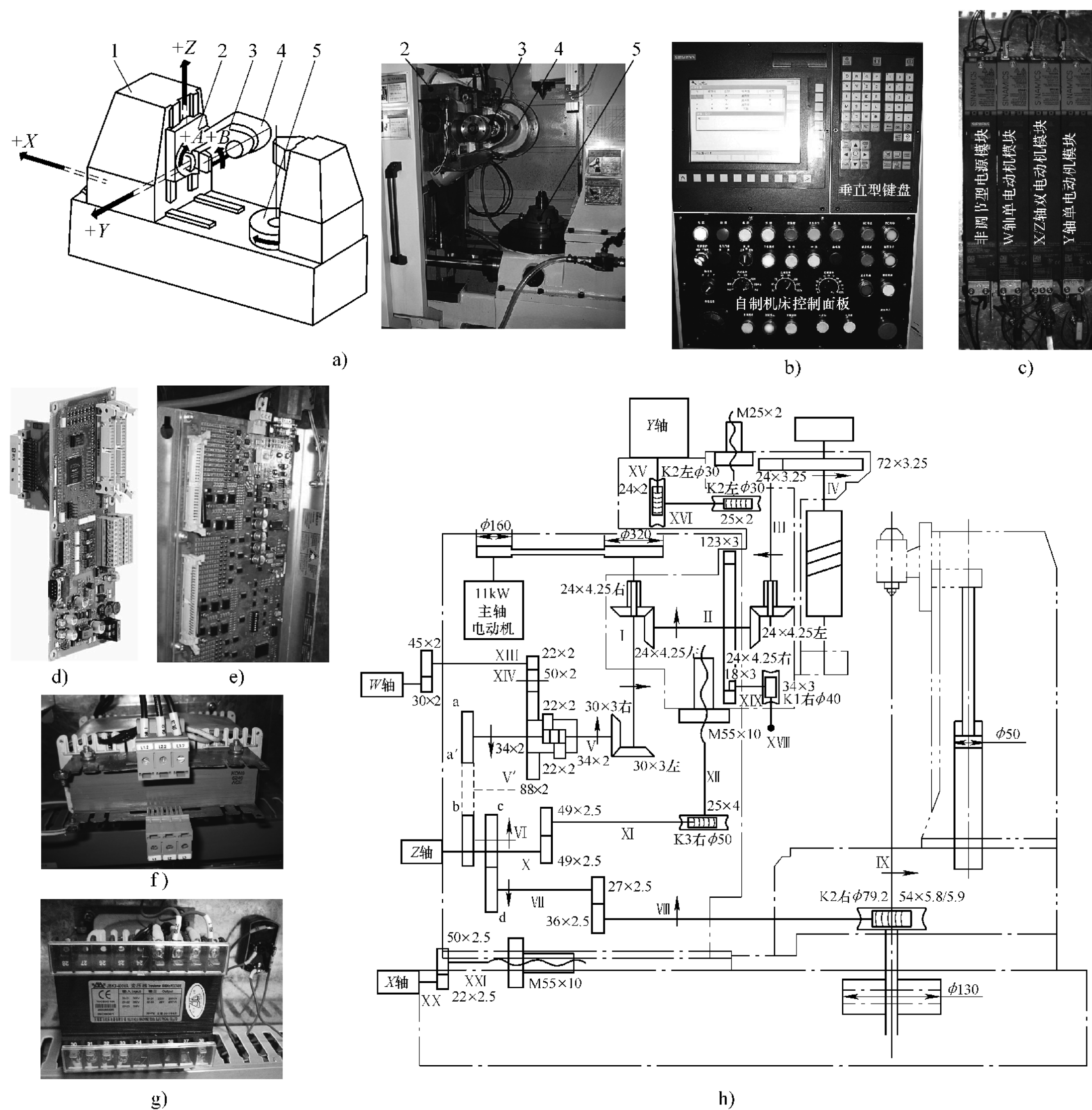


图 2-69 YKX3132M 型数控滚齿机的组成及传动系统图

a）YKX3132M 型数控滚齿机结构组成示意图 b）802Ds1 的 PCU 面板及垂直型键盘等 c）S120 驱动器 d）MCPA 模块 e）PP72/48 I/O 模块 f）整流电抗器 g）380V AC 变压器 h）YKX3132M 型数控滚齿机传动系统图

1—机床立柱/径向滑座 2—刀架滑板/轴向滑座 3—滚齿刀 4—滚刀架/切向滑座 5—工作台

1. 滚齿机刀具主轴的控制过程

YKX3132M 型数控滚齿机刀具主轴的旋转运动属于主运动传动，它不仅可以在 AUTO 或 MDA 方式下使用辅助功能代码 M03（M05）并点击 MCP 上的［循环启动］（［进给保持］）按键实现自动运转（停止），还可以在 JOG 方式下通过点击 MCP 上的［主轴点动］、［主轴正转］和［主轴停止］按键分别实现点动控制、连续旋转和停止控制。该机床刀具主轴的控制电路如图 2-70 所示，机床控制面板的按键分布及其 I/O 接口如图 2-71 所示。

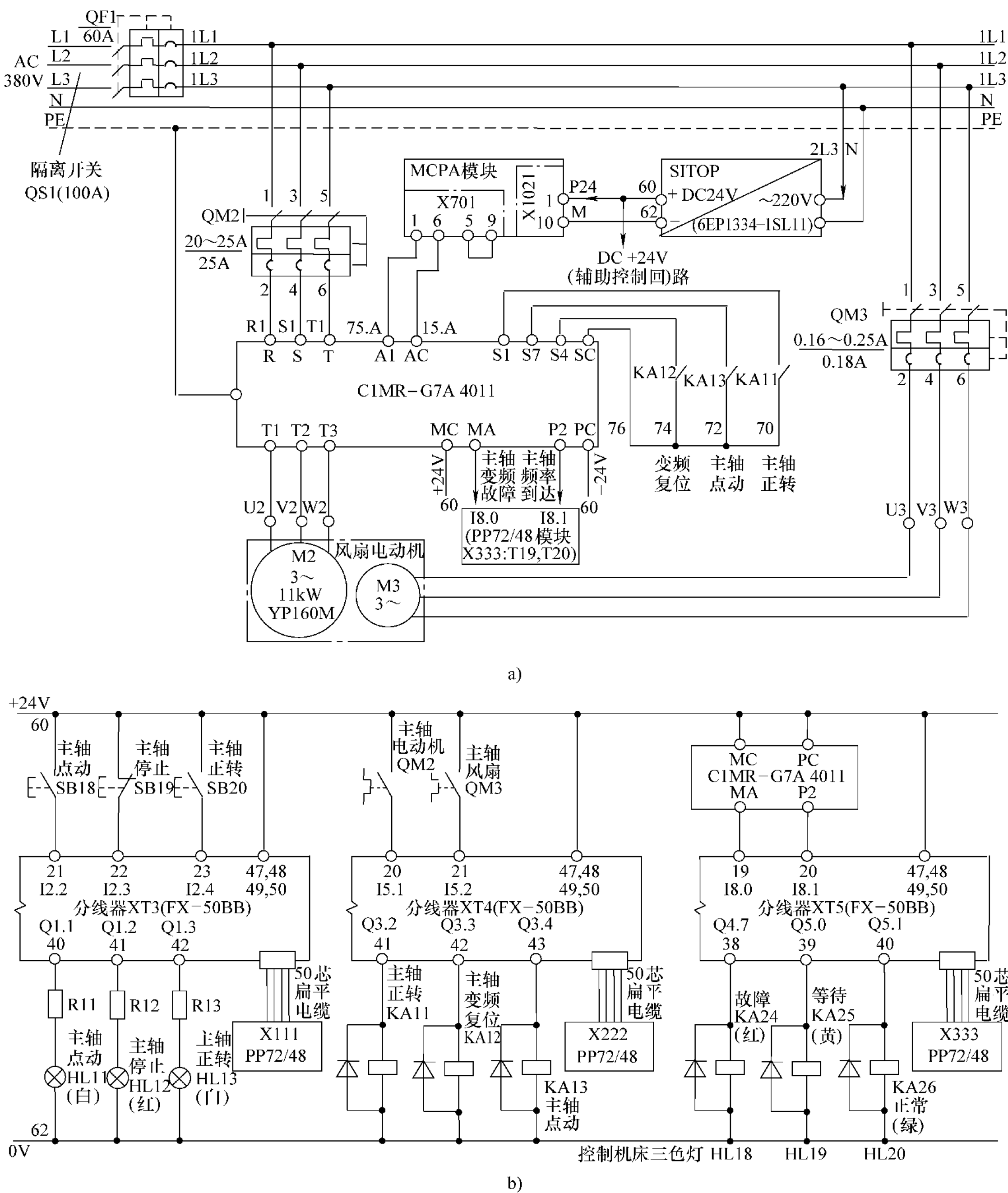


图 2-70 YKX3132M 型数控滚齿机刀具主轴的控制电路

a）主回路 b）辅助控制回路

（1）刀具主轴的自动控制过程

1）运行方式选择及信号处理（见图 2-72）：待机床就绪后将 MCP 上［方式选择］旋钮置于 AUTO（MDA）方式→方式选择信号地址 I3.7、I4.0 和 I4.1 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行扫描处理→对应于 AUTO（MDA）运行方式的接口信号 V30000000.0（V30000000.1）接通并由

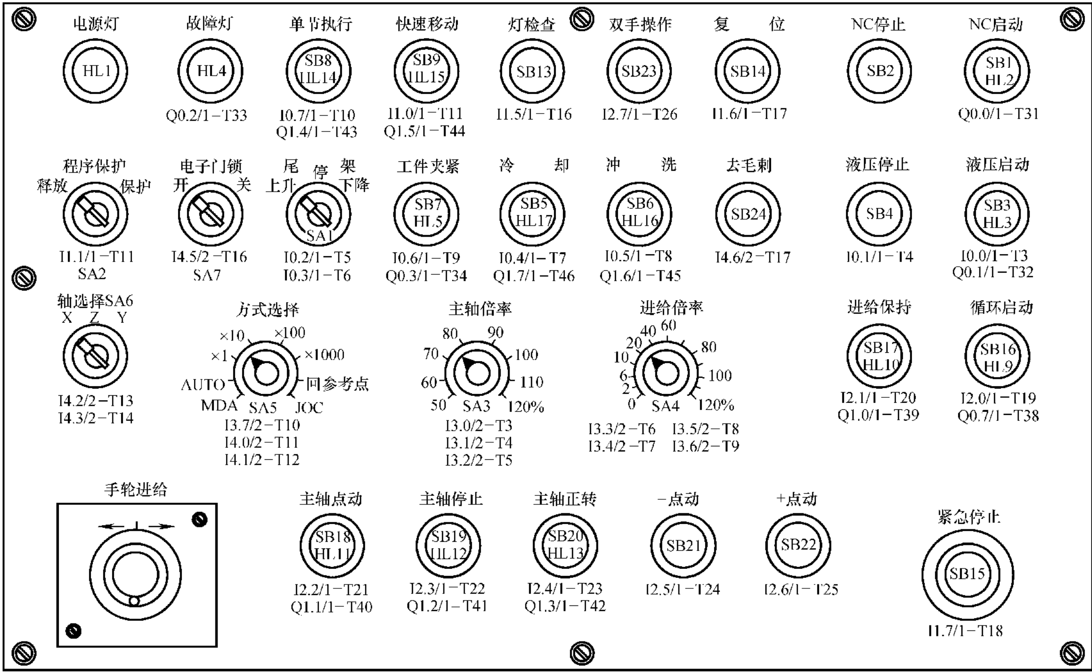


图 2-71 机床控制面板的按键分布及其 I/O 接口

注：I4.1/2－T12 中 I4.1 为 MCP 至 PLC 的按键输入信号，/2 为 PP72/48 模块的 X222 插口，T12 为插口中端子号；Q0.3/1－T34 中 Q0.3 为 PLC 至 MCP 的按键指示灯输出信号，/1 为 PP72/48 模块的 X111 插口，T34 为插口中端子号；其他标号类似。

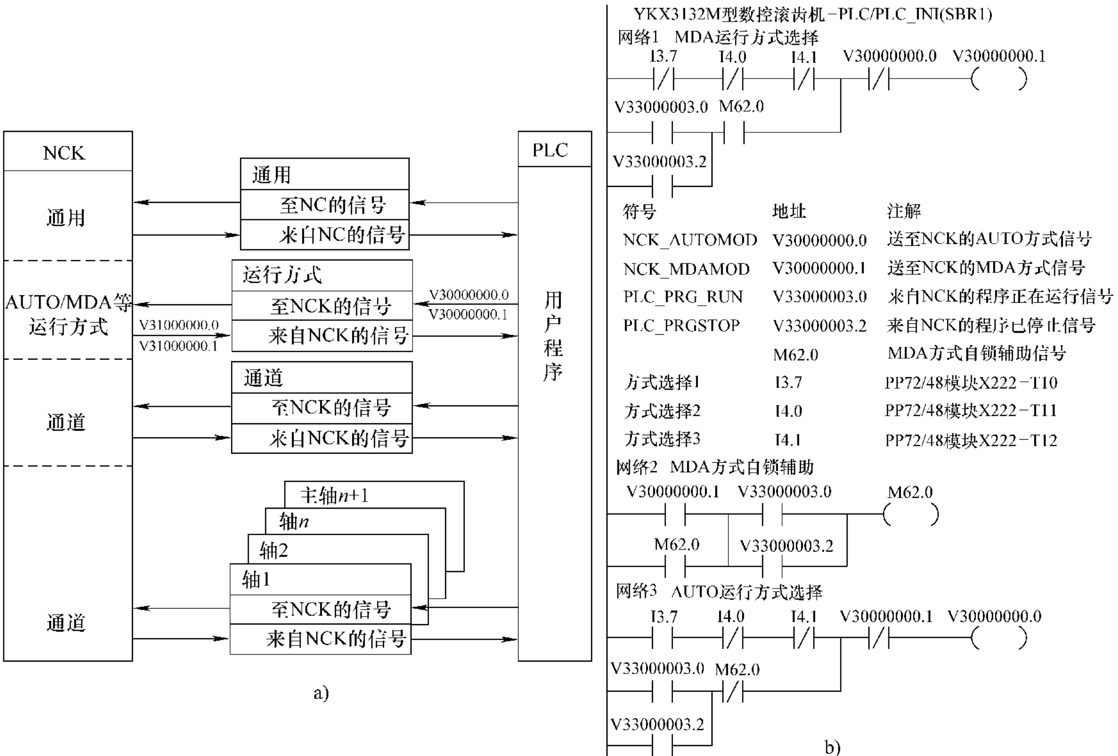


图 2-72 NCK 与 PLC 间信号交换示意图及运行方式选择的 PLC 程序

a）NCK 与 PLC 间信号交换示意图 b）AUTO/MDA 运行方式选择的 PLC 程序

PLC 传输至 NCK→NCK 应答后经接口信号 V31000000.0（V31000000.1）向 PLC 回传 AUTO（MDA）方式生效信号（M61.0）。

2）循环启动和进给保持信号的处理（见图 2-73）：当循环条件满足（如防护门关闭、挂轮箱门关闭等）后→操作者同时按下 MCP 上的［循环启动］和［双手操作］按键→相应按键信号 I2.0 和 I2.7 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行扫描处理→V32000007.1 线圈通电并由 PLC 将 NC 启动激活信号传送至 NCK→NC 开始执行程序并经 V33000003.0 向 PLC 传送程序正在运行信号→Q0.7 线圈通电进而使［循环启动］按键的指示灯 HL9 点亮→当机床防护门（信号地址 I7.3）或挂轮箱门（信号地址 I4.7）处于打开状态，或者按下 MCP 上［进给保持］按键（信号地址 I2.1）时→V32000007.3 线圈通电进而使当前程序段的执行立即停止，同时由 PLC 将 NC 停止激活信号传送至 NCK→NCK 经接口信号 V33000003.2 向 PLC 回传程序已停止信号→Q1.0 线圈通电进而使［进给保持］按键的指示灯 HL10 点亮。

3）利用 M 代码控制刀具主轴自动运转（见图 2-74）：V32000007.1 =1 时 NC 开始执行程序段“S＊＊M03 或 M03 S=R9 或 M03 S=R14”（R9 和 R14 分别为单级齿轮加工循环中一次方框顺/逆滚切削和二次 L 型顺/逆滚切削时刀具主轴的转数）→NCK 经由动态接口 V25001000.3 向 PLC 传送主轴正转 M03 代码信号→M40.6 线圈通电保持且经接口 V38030004.7 向 NCK 传送主轴正向运行键激活信号→Q3.2 线圈通电并保持→与主轴正转相关的继电器 KA11 线圈通电其常开触点闭合→变频器 C1MR－G7A4011 获得启动信号→伴随着 Q3.2 线圈的通电 Q1.3 被接通→MCP 上的主轴运转指示灯 HL13 点亮，提示操作者刀具主轴处于运转启动状态。

在 NC 执行程序段“S＊＊M03 或 M03 S=R9 或 M03 S=R14”时 802Dsl 的 NCK 对刀具主轴的转速进行运算处理→处理后的转速信号经 MCPA 模块上 X701 接口以 0～10V 的单极形式（机床数据 MD30134 IS_ UNIPOLAR_ OUTPUT［0，AX4］=1）输出至变频器 C1MR－G7A4011（主要参数的设定见表 2-8）→三相交流异步电动机 YP160M 在变频器 C1MR－G7A4011 的控制下旋转（对应频率为 30～120Hz 的刀具主轴电动机的转速 $n_{主电}=900\sim3600\text{r/min}$）→刀具主轴电动机通过三联 V 带和齿轮副带动刀具主轴旋转并实现无级变速(滚齿刀转速计算公式为 $n_{刀}=n_{主电}\times\frac{160}{320}\times\frac{24}{24}\times\frac{24}{24}\times\frac{24}{72}=150\sim600\text{r/min}$）→当刀具主轴频率达到设定值时，变频器发出频率到达信号并经 PP72/48 模块的 X333：T20 向 PLC 传送主轴频率到达信号 I8.1→当 NC 执行程序过程中遇见主轴停止 M05（对应信号 V25001000.5）、程序停止 M02（对应信号 V25001000.2）、急停生效信号 V27000000.1 或 NCK 通道复位信号 V30000000.7 时，M40.7 线圈得电其常闭触点断开→M40.6 线圈失电进而 Q3.2 失电→KA11 线圈失电，其处于闭合状态的常开触点呈断开状态→变频器启动使能丢失而不再进行调速控制→刀具主轴电动机减速直至停止运转→Q3.2 线圈失电的同时，Q1.2 线圈通电进而主轴停止，指示灯 HL12 点亮。

表 2-8　日本安川变频器 C1MR－G7A4011 主要参数的设定

参数号	设置值	名称	参数号	设置值	名称
A1－00	0	语言选择	E2－01	24.8	额定电压
C1－01	3	加速时间	E1－04	120	上限频率
C1－02	4	减速时间	E1－06	50	基频
D1－17	30	点动频率	E1－09	30	下限频率
E1－01	400	输入电压			

注：变频器参数设定后严禁随意改动。



图 2-73 循环启动和进给保持按键控制的 PLC 程序

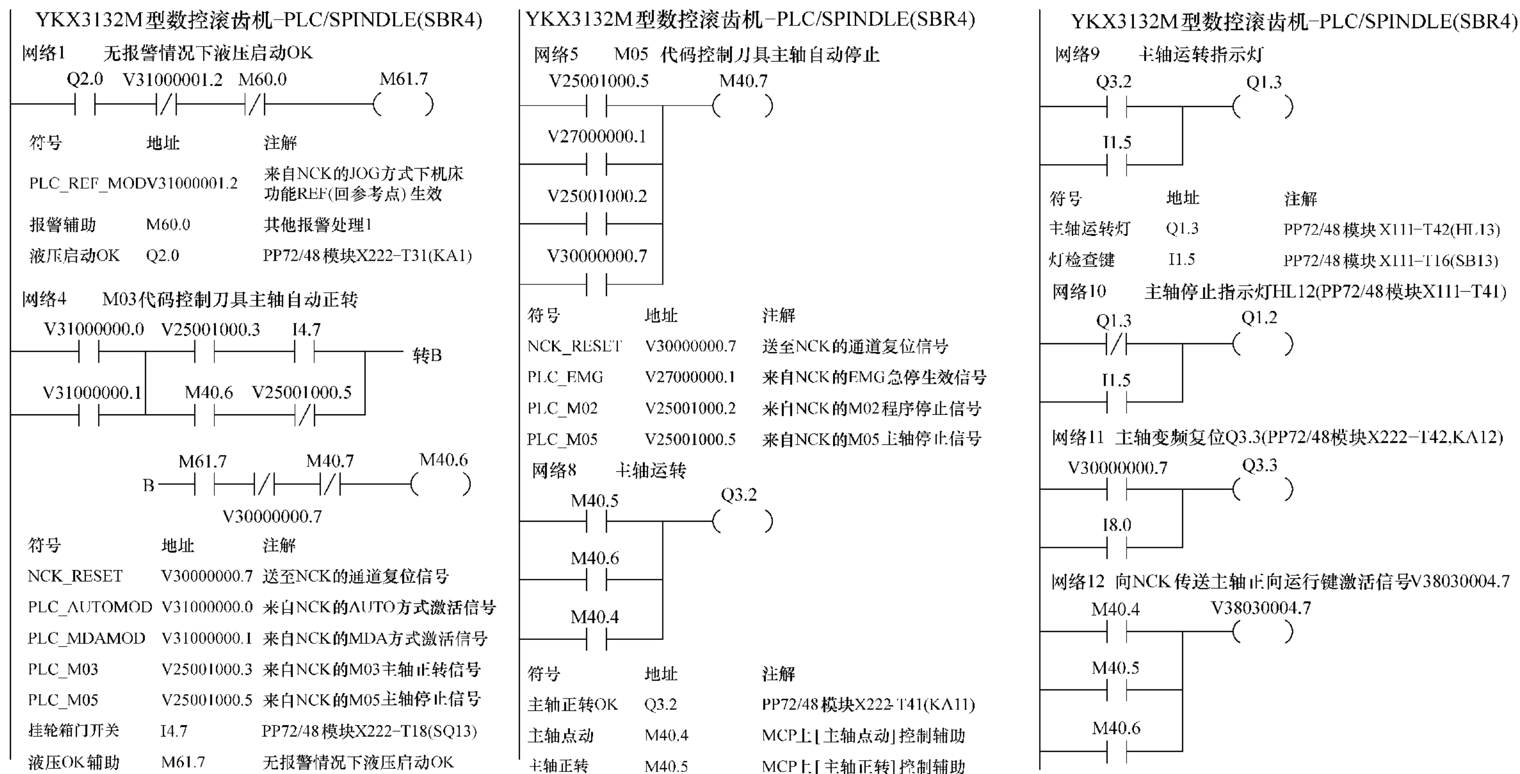


图 2-74 M 代码控制刀具主轴自动运转的 PLC 程序

（2）刀具主轴的手动控制过程　YKX3132M 型数控滚齿机的刀具主轴除 AUTO/MAD 方式下的自动运转控制外，还能在 JOG 方式下经由 MCP 上［主轴点动］、［主轴正转］和［主轴停止］按键分别实现点动控制、连续旋转和停止控制。读者可参照 YKX3132M 型数控滚齿机刀具主轴自动运转的控制，来分析其刀具主轴手动运转的控制（见图 2-75）。

（3）刀具主轴速度倍率的修调控制　如图 2-76 所示，在 AUTO 或 MDA 运行方式下，操作人员或维修人员可使用 MCP 上的主轴速度倍率修调旋钮来控制刀具主轴的实际旋转速度，并将加工程序中指令的主轴速度 S 值按 10% 分级，进行 50% ~120% 的修调。另外数控机床上不建议使用过低甚至为 0 的主轴速度倍率修调，目的是防止切削工件时主轴不转而产生危险后果。当加工程序中由 S 代码设定刀具主轴速度为 200r/min 时，如主轴速度倍率修调旋钮选择 80%，则滚齿刀的实际转速为 200r/min ×80% =160r/min。

1）主轴倍率修调过程：该机床主轴速度倍率修调旋钮 SA3 的输入信号 I3.0、I3.1 和 I3.2 经 PP72/48 模块传送至 PLC 中进行扫描处理，再经接口 V38032003 将格雷码形式的主轴倍率信号传送至 NCK 中，当 PLC 经接口 V38030001.7 向 NCK 传送倍率修调激活信号时，数控系统便向刀具主轴输出修调后的转速信号，从而改变刀具主轴的编程转速值。

2）主轴倍率修调常见故障与排除：

① 主轴速度倍率修调旋钮的输入信号（I＊＊）因断线或倍率旋钮损坏等不能经 PP72/48 模块输入 PLC 中，此时可通过系统操作区的 PLC 状态显示画面（同时按［SHIFT］键和［SYSTEM/ALARM］键→按［PLC］水平软键→［PLC 状态］水平软键即可）查看与主轴倍率旋钮状态相对应的输入信号 I3.0、I3.1 和 I3.2 是否置 1。若对应状态不能置 1，则可能为断线故障。若更换连接线后不能消除故障，则为倍率旋钮损坏，需更换。

② 主轴速度倍率修调旋钮的 DC +24V 供应不正常，如 DC +24V 电源无输出，倍率旋钮上 DC +24V 的输入管脚开焊，或 PP72/48 模块上 X222 插口的 T3/T4/T5 端子连接状态不良等，可用万用表的直流电压挡测量 DC +24V 的供应以确定故障原因。

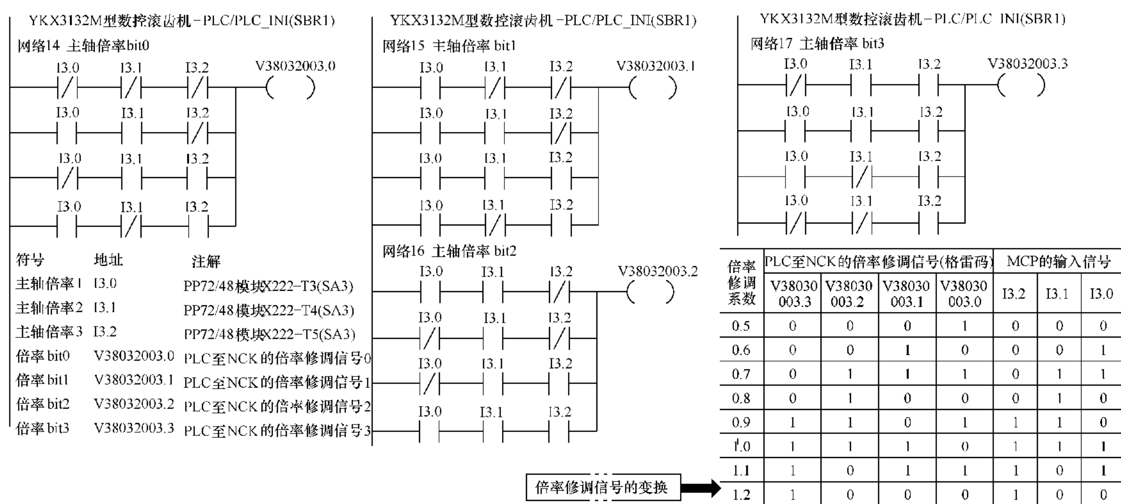
2. 滚齿机伺服进给的控制过程

YKX3132M 型数控滚齿机的伺服进给包括刀架滑板（Z 轴）的轴向上升/下降，机床立柱（X 轴）的径向前进/后退，滚刀架（Y 轴）的切向窜动和斜齿轮加工时差动轴（W 轴）的回转运动 4 块内容。其中 Z 轴采用 1FT6084 –8AC71 –3DH0 同步电动机（转速 $n_Z=0.83\sim834$r/min）作为执行元件，并经齿轮副（传动比$\frac{49}{49}$）和蜗杆副（传动比$\frac{3}{25}$）带动滚珠丝杠螺母副（螺距 10mm）以 $V_Z=n_Z\times\frac{49}{49}\times\frac{3}{25}\times10=1.2n_Z$ 的进给速度实现刀架滑板的 Z 向进给；X 轴采用 1FT6084 –8AC71 –3DA2 同步电动机（转速 $n_X=0.4\sim200$r/min）作为执行元件，并经齿轮副（传动比$\frac{22}{50}$）带动滚珠丝杠螺母副（螺距 10mm）以 $V_X=n_X\times\frac{22}{50}\times10=4.4n_X$ 的进给速度实现机床立柱的 X 向进给；Y 轴采用 1FK7042 –5AF71 –1DA0 同步电动机（转速 $n_{X\max}=3000$r/min）作为执行元件，并经两级蜗轮副（传动比$\frac{2}{24}$和$\frac{2}{25}$）减速带动滚珠丝杠螺母副（螺距 5mm）以 $V_Y=n_Y\times\frac{2}{24}\times\frac{2}{25}\times5=0.0\dot{3}n_Y$ 的进给速度实现滚刀架的 Y 向进给；W 轴采用 1FT6086 –8AF71 –3DG0 同步电动机（转速 $n_{W\max}=3000$r/min）作为执行元件，并经差动机构传动实现 W 轴的回转进给，W 轴的回转量为 $\Delta W=\pm\frac{9\sin\beta}{\pi M_n K}\times f_s$（由计算公式$\frac{\pi M_n Z}{\sin\beta}\times\frac{\Delta W}{f_s}\times\frac{30}{45}\times\frac{22}{50}\times\frac{50}{88}\times\frac{2}{1}\times\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}\times\frac{27}{36}\times\frac{2}{54}=\pm1$ 推导得来。式中，M_n 是工件的法向模数，单位为 mm；β 是工件螺旋角，单位为°；Z 是工件齿数；K



图 2-75 YKX3132M 型数控滚齿机刀具主轴手动控制的 PLC 程序

是滚齿刀头数；f_s 是工作台每转刀架滑板的轴向进给量，单位为 mm/r 且 $f_s=\frac{V_Z}{n_{刀}}\times\frac{Z}{K}$；$\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$是分度挂轮比且$\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}=\frac{12K}{Z}$)。同时 $X/Y/Z/W$ 轴伺服电动机的旋转由 SINAMICS S120 多轴驱动器中的书本型电动机模块进行控制（见图 2-77)，其控制信号来自于 802Dsl 系统 PCU 插补后的位置和速度指令。S120 驱动器控制下的 $X/Y/Z$ 轴既可在 AUTO 或 MDA 方式下实现伺服进给，又可在 JOG 方式下利用 MCP 上的轴选择开关 SA6、［+点动］键和［-点动］键按照机床预先设定的进给速度（机床数据 MD32020 JOG_ VELO［AXn]，n=1、2、3）实现目标轴的单轴移动；同时 AUTO/MDA/JOG 方式下 MCP 上进给速度倍率修调旋钮 SA4 均有效。另外，$X/Y/Z$ 轴还可在×1、×10 或×100 方式下利用 MCP 上的手摇脉冲发生器和轴选择开关 SA6 实现目标轴的单轴移动。下面为读者详细介绍 YKX3132M 型数控滚齿机伺服进给的有关控制过程。



倍率修调系数	PLC至NCK的倍率修调信号(格雷码)				MCP的输入信号		
	V38030003.3	V38030003.2	V38030003.1	V38030003.0	I3.2	I3.1	I3.0
0.5	0	0	0	1	0	0	0
0.6	0	0	1	0	0	0	1
0.7	0	1	1	1	0	1	1
0.8	0	1	0	0	0	1	0
0.9	1	1	0	1	1	1	0
1.0	1	1	1	0	1	1	1
1.1	1	0	1	1	1	0	1
1.2	1	0	0	0	1	0	0

图 2-76 YKX3132M 型数控滚齿机刀具主轴速度倍率修调控制的 PLC 程序及倍率修调信号的变换

（1）S120 驱动器中各模块的使能控制过程（省略回参考点的控制）

1）关好 YKX3132M 型数控滚齿机的电控柜门，打开隔离开关 QS1（100A）和断路器 QF1（60A)，将三相 AC380V 电源引入机床中。DC24V 电源正常工作，MCP 上的电源指示灯 HL1 点亮呈白色，DC24V 电源不仅经接口 X24 引入书本型 SLM（10kW 的不可控电压源型变频器）中，并通过 DC24V-bus 总线为后续的书本型单/双轴电动机模块提供工作电源，还经接口 X1021（端子 1、10）和 X1（端子 1、2）分别为 MCPA 模块和 PP72/48 模块提供工作电源。

2）三相 AC380V 电源引入机床后，经保护开关 QM9（20A）和整流电抗器传输至书本型 SLM 的 A1 接口，等待 SLM 内部的预充电回路接通。

3）HL1 点亮呈白色后，按下 MCP 上的［NC 启动］按键 SB1，继电器 KA0 线圈得电，常开触点闭合，使按钮 SB1 处于自锁状态。随之 DC24V 经接口 X4（端子 1，2）进入 802Dsl 系统而使 PCU 上电启动，进而系统的软件和硬件被初始化，PCU 分别通过 Profibus 和 DRIVE-CLiQ 与 PP72/48 模块和 S120 驱动器实现通信。

4）PLC 的主程序 MAIN（OB1）开始循环扫描程序并调用 USR_ INI 等子程序（见图 2-78)，①随之 PLC 经接口 V32000006.7 和 V32000006.6 分别向 NCK 传送进给补偿生效信号和快速倍率

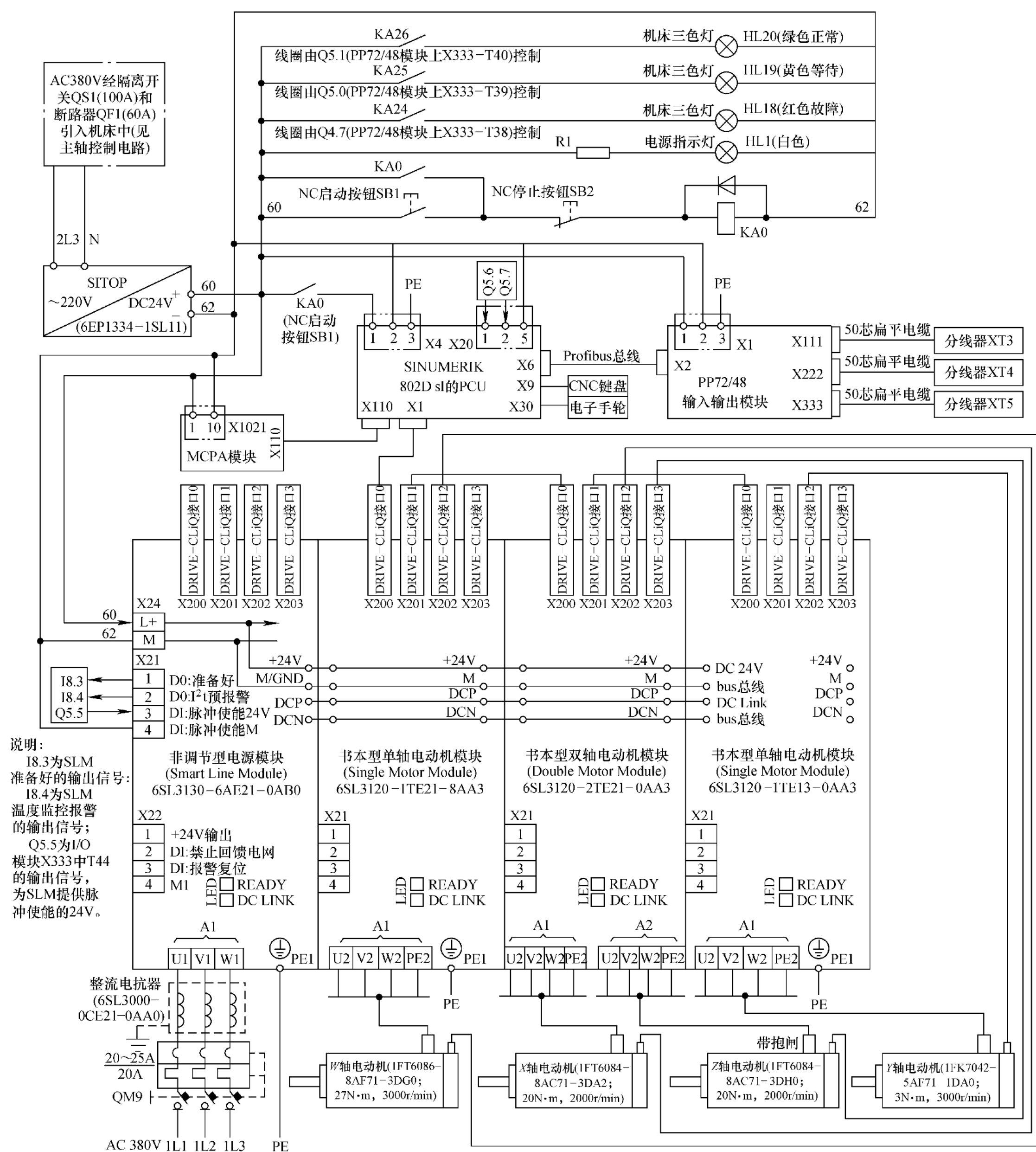


图 2-77　S120 驱动器在 YKX3132M 型数控滚齿机上的连接

修调生效信号。②PLC 经接口 V380n0001.7 和 V380n0001.5 分别向 NCK 传送 *X*、*Y*、*Z*、*W*、*SP* 轴倍率修调生效信号和测量系统 1 生效信号。③PLC 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T31 输出 Q0.0 = 1 使得［NC 启动］按键的指示灯 HL2 点亮呈绿色。④PLC 通过 PP72/48 模块上 X333 插口的端子 T44 向 SLM 的 X21: T3 输出 Q5.5 = 1→书本型 SLM 的脉冲使能生效（类似于 611D 的 T48）→SLM 内部的预充电回路（作用是避免主回路上电瞬间的冲击电流对书本型 SLM 中的 IGBT 和反并联二极管等功率器件造成损坏，见图 2-79）接通，并对储能滤波电容持续充

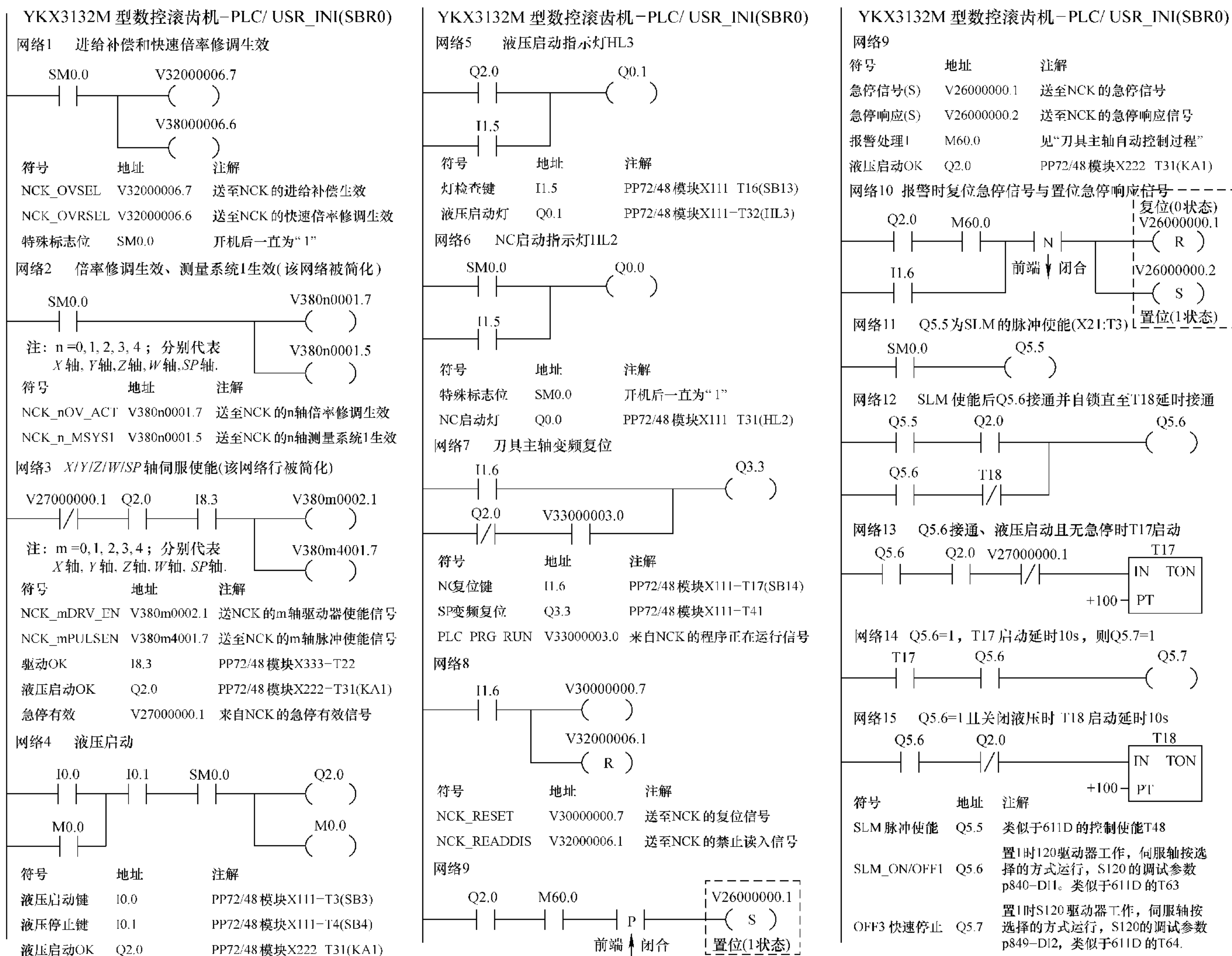


图 2-78 S120 驱动器中各模块使能控制的 PLC 程序

电约10秒钟以逐步建立起直流母线电压→预充电完成后旁路接触器自动合闸→三相 AC380V 电自 SLM 的主回路接入。⑤伴随着 SLM 的使能启动，其内部“准备好”继电器的常开触点闭合并经 PP72/48 模块上 X333 插口的端子 T22 向 PLC 反馈 SLM 就绪信号（I8.3 =1）。

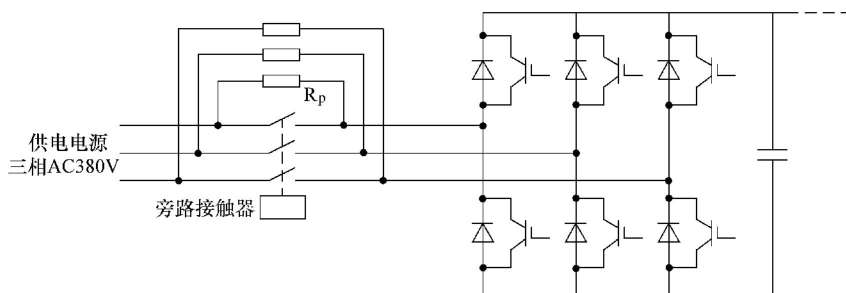


图2-79　书本型 SLM 的预充电回路

5）释放 MCP 上的［紧急停止］按钮 SB15→NCK 便经接口 V27000000.1 向 PLC 传送急停未使能信号（即 V27000000.1 =0）→按下 MCP 上的［液压启动］按键 SB3→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T3 向 PLC 输入 I0.0 =1 信号→PLC 逻辑处理后 Q2.0 线圈通电保持→PLC 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T32 输出 Q0.1 =1 使得［液压启动］按键的指示灯 HL3 点亮呈绿色。

6）伴随着 Q2.0 =1 和 I8.3 =1，PLC 经接口 V380m0002.1 和 V380m4001.7 分别向 NCK 传送 *X*、*Y*、*Z*、*W*、*SP* 轴驱动器使能信号和脉冲使能信号。伴随着 Q2.0 =1 和 Q5.5 =1→Q5.6 线圈通电保持并通过 X333 插口的端子 T45 传送至 802Dsl 的 X20.1→S120 驱动器中配置的电动机模块就绪（类似于611D 的 T63）→待定时器 T17 启动延时 10s 后 Q5.7 线圈通电→S120 驱动器的 OFF3 快速停止功能激活（类似于611D 的 T64）。

7）在 S120 驱动器工作过程中（Q2.0 =1）SLM 内部的“准备好”继电器和过电流监控继电器（I^2t）对 SLM 实时监控，一旦 X21.1 串联的正处于闭合状态的常开触点断开（I8.3 =0）或 X21.2 串联的正处于闭合状态的常开触点断开（I8.4 =0），PLC 便经由接口 V16000000.1 和 V16000002.3 向 HMI 分别传送 SLM OK 报警 700001 和 SLM 超温报警 700019 并在 PCU 面板上显示。

8）在 *X*、*Y*、*Z*、*W*、*SP* 轴驱动器使能信号和脉冲使能信号就绪以及循环条件满足（如防护门关闭、挂轮箱门关闭等）后→操作者同时按下 MCP 上的［循环启动］和［双手操作］按键→相应按键信号 I2.0 和 I2.7 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行扫描处理→V32000007.1 线圈通电并由 PLC 将 NC 启动激活信号传送至 NCK→NC 开始执行程序并经 V33000003.0 向 PLC 传送程序正在运行信号→Q0.7 线圈通电进而使［循环启动］按键的指示灯 HL9 点亮→当机床防护门（信号地址 I7.3）或挂轮箱门（信号地址 I4.7）处于打开状态或者按下 MCP 上［进给保持］按键（信号地址 I2.1）时→V32000007.3 线圈通电进而使当前程序段的执行立即停止，同时由 PLC 将 NC 停止激活信号传送至 NCK→NCK 经接口信号 V33000003.2 向 PLC 回传程序已停止信号→Q1.0 线圈通电进而使［进给保持］按键的指示灯 HL10 点亮。

9）读者依据 S120 驱动器上电使能的控制，结合图2-77 和图2-78 自行分析 S120 驱动器下电使能的控制过程。

（2）进给轴速度倍率的修调控制　如图2-80 所示。

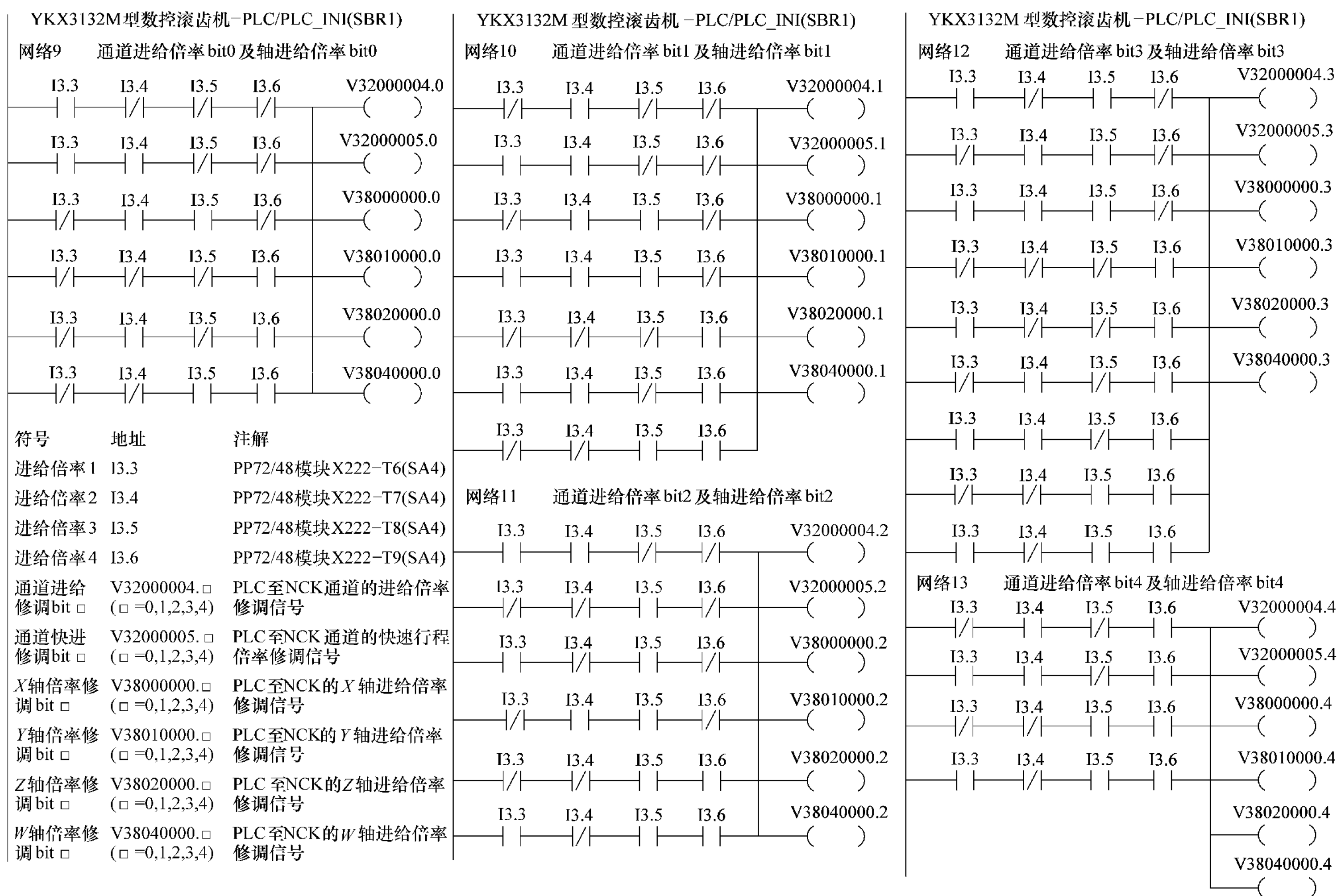


图2-80 进给轴速度倍率修调控制的PLC程序及信号变换过程

a）进给速度倍率修调控制的PLC程序

倍率修调系数			PLC至NCK的倍率修调信号					MCP至PLC的输入信号			
对应于V380n0000.□的单轴进给倍率修调系数	对应于V32000005.□的快速行程倍率修调系数	对应于V32000004.□的通道进给倍率修调系数	V32000004.4 V32000005.4 V380n0000.4	V32000004.3 V32000005.3 V380n0000.3	V32000004.2 V32000005.2 V380n0000.2	V32000004.1 V32000005.1 V380n0000.1	V32000004.0 V32000005.0 V380n0000.0	I3.6	I3.5	I3.4	I3.3
0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0.02	0.02	0.02	0	0	0	1	0	0	0	1	0
								1	0	0	0
0.06	0.06	0.06	0	0	1	1	1	0	0	1	1
0.10	0.10	0.10	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0.20	0.20	0.20	0	1	1	0	0	0	1	0	1
0.40	0.40	0.40	0	1	1	1	1	0	1	1	0
0.60	0.60	0.60	0	1	0	1	0	0	1	1	1
0.70	0.70	0.70	0	1	0	1	1	1	0	0	0
0.80	0.80	0.80	0	1	0	0	0	1	0	0	1
0.90	0.90	0.90	1	1	0	0	1	1	0	1	0
1.00	1.00	1.00	1	1	0	1	0	1	0	1	1
1.10		1.10	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1.20		1.20	1	1	1	0	0	1	1	0	1

b)

图 2-80　进给轴速度倍率修调控制的 PLC 程序及信号变换过程（续）

b）进给/快进倍率修调信号的变换过程

注：□ =0 ~7，n =0，1，2，4 并分别对应 X 轴、Y 轴、Z 轴和 W 轴。

1）AUTO 或 MDA 运行方式下，操作人员或维修人员可使用 MCP 上的进给速度倍率修调旋钮来选择百分比（%），以增加或减少编程轴的进给速度。如程序段 G01 G91 Z = − R31 W = − R32 F = R20（R＊＊是在［OFFSET/PARAM］操作区的 R 参数画面预先输入的数值，R31 = −10，R32 = −6，R20 = 1000），表示当倍率修调旋钮置 80% 时，*Z*、*W* 轴将以 1000 × 80% = 800mm/min 的速度增量切削进给至点 *P*（Z10W6）。YKX3132M 型数控滚齿机进给速度倍率修调旋钮 SA4 的输入信号 I3.3、I3.4、I3.5 和 I3.6 经 PP72/48 模块传送至 PLC 中进行扫描处理，再经接口 V32000004 将格雷码形式的通道进给倍率信号传送至 NCK 中。当 PLC 经接口 V32000006.7 向 NCK 传送进给倍率修调激活信号时，数控系统便向编程轴输出修调后的进给速度信号，从而改变编程轴的进给速度。

2）JOG 运行方式下，通过 MCP 上［轴选择］开关 SA6（输入信号为 I4.2 和 I4.3）、［＋点动］键和［－点动］键可实现被选定轴 *X/Y/Z* 的正向或负向移动（见图 2-81），移动速度由机床数据 MD32020 JOG_ VELO［AXn］进行预先设定（n = 1、2、3）；此时进给速度倍率修调旋钮 SA4 有效。SA4 的输入信号 I3.3、I3.4、I3.5 和 I3.6 经 PP72/48 模块传送至 PLC 中进行扫描处理，再经接口 V380n0000（n = 0、1、2）将格雷码形式的单轴进给倍率信号传送至 NCK 中。当 PLC 经接口 V380n0001.7（n = 0，1，2）向 NCK 传送进给倍率修调有效信号时，数控系统便向被选定轴输出修调后的进给速度信号，从而改变被选定轴的进给速度。

JOG 运行方式下，操作者还可预先按下［快速移动］按键 SB9，再由 SA6 选定待移动的伺服轴，然后通过［＋点动］键或［－点动］键实现被选定轴的快速移动，快速移动速度由机床数据 MD32010 JOG_ VELO_ RAPID［AXn］进行预先设定（n = 1，2，3）；此时进给速度倍率修调旋钮 SA4 仍有效。SA4 的输入信号经 PLC 的扫描处理后，由接口 V32000005 将快速行程倍率信号传送至 NCK。当 PLC 经接口 V32000006.6 向 NCK 传送快速修调有效信号时，数控系统便向被选定轴输出修调后的快速移动速度信号，从而改变被选定轴的快速移动速度。

（3）手轮进给方式下 *X/Y/Z* 轴移动的控制　当对机床进行对刀等微调整操作时，需要伺服轴 *X/Y/Z* 慢速运行。此时可借助 MCP 上的手摇脉冲发生器（简称电子手轮或手轮/MPG）和轴选择开关 SA6 在 ×1、×10 或 ×100 运行方式下实现被选定轴的增量进给移动，且 ×1、×10 和 ×100 方式对应的增量进给倍率分别为 0.001mm、0.01mm 和 0.1mm。802Dsl 的 PCU 面板通过接口 X30（螺栓连接的 12 型端子插头）最多可连接 2 个电子手轮，YKX3132M 型数控滚齿机仅能连接 1 个电子手轮。下面以 ×1 方式下 *X/Y/Z* 轴的移动控制为例，介绍手轮进给方式下轴移动控制过程（见图 2-82）。

1）将 MCP 上［方式选择］旋钮 SA5 置 ×1 方式→方式选择信号地址 I3.7、I4.0 和 I4.1 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行扫描处理→对应 ×1 方式的接口信号 V30000002.0 接通并由 PLC 传输至 NCK，同时用于后续逻辑的辅助线圈 M10.0 = 1。

2）利用 MCP 上［轴选择］开关 SA6 选定 *X* 轴→辅助逻辑线圈 M11.0 = 1→HMI 选择手轮轴 *X* 生效并经接口 V38000004.0 传送至 NCK→NCK 向 PLC 反馈手轮 1 就绪信号（最多可连接 2 个手轮——手轮 1、2）→当机床无报警（即 M60.0 = 0）时辅助逻辑线圈 M20.2 = 1→PLC 便经由接口 V38000005.0 和 V32001001.0 向 NCK 分别传送机床功能 INC1 有效信号和几何轴 1 的 INC1 有效信号（即 *X* 轴每移动 1 个刻度时的增量数）。

3）手轮进给方式中必须根据所需在 PLC 用户程序中设置接口信号“机床功能 INC1 ~ INC-var”并传送至 NCK，并且由 INC 输入在方式组区域的生效信号 V26000001.0 确定 INC 运行信号的传输区域。当 V26000001.0 = 1 时，在方式组区域 INC 运行信号经接口 V30000002 传送至 NCK；

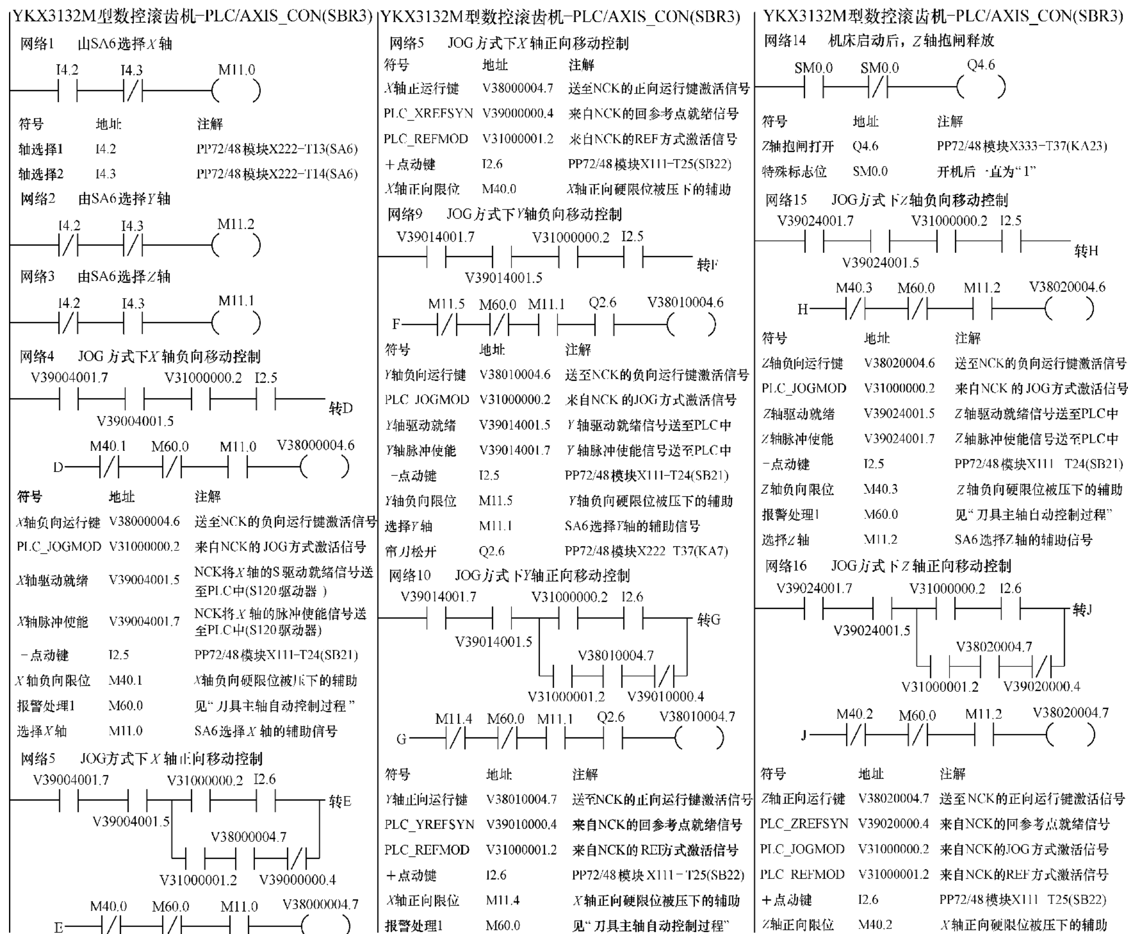


图 2-81　*X/Y/Z* 单轴正向或负向移动的 PLC 程序

当 V26000001. 0 = 0 时，在几何轴/进给轴区域 INC 运行信号经接口 V32001001、V32001005、V32001009 和 V380n0005（n = 0，1，…）传送至 NCK。YKX3132M 型数控滚齿机的 INC 运行信号属于后一种，即 V26000001. 0 = 0 的情况。

2. 2. 3　SINAMICS S120 的故障诊断及实例分析

目前，西门子公司推行具有分布式系统组织结构的 SINUMERIK 系统与模块化多轴驱动控制系统 SINAMICS S120 相互搭配，以实现数控机床控制的最佳组合。为使该类型数控机床能够稳定持续运转并充分发挥其良好的加工性能，除合理使用和正确维护保养 SINUMERIK 系统外，还需要确保 SINAMICS S120 的可靠运行（基于标准调试工具 STARTER 的最优化控制、STARTER 调试界面及 S120 涉及的参数与描述见图 2-83）与现场故障的快速诊断。

1. 借助 LED 指示灯对 S120 驱动器进行故障诊断

SINAMICS S120 驱动器的控制单元 CU320（840Disl 系统）、电源模块和电动机模块上均带有两个及以上的多色 LED 指示灯，它们可实时反映 S120 驱动器的运行状态。当机床发生故障时，维修人员可借助这些 LED 指示灯的状态（属于现代诊断分析方法之一），迅速查明故障原因并及时排除，尽快恢复机床的正常运转；同时制定有针对性的预防措施，防止类似故障的再次发生。

控制单元 CU320、电源模块和电动机模块的 LED 指示灯含义及故障原因，分别见表 2-9 ~ 表 2-11。

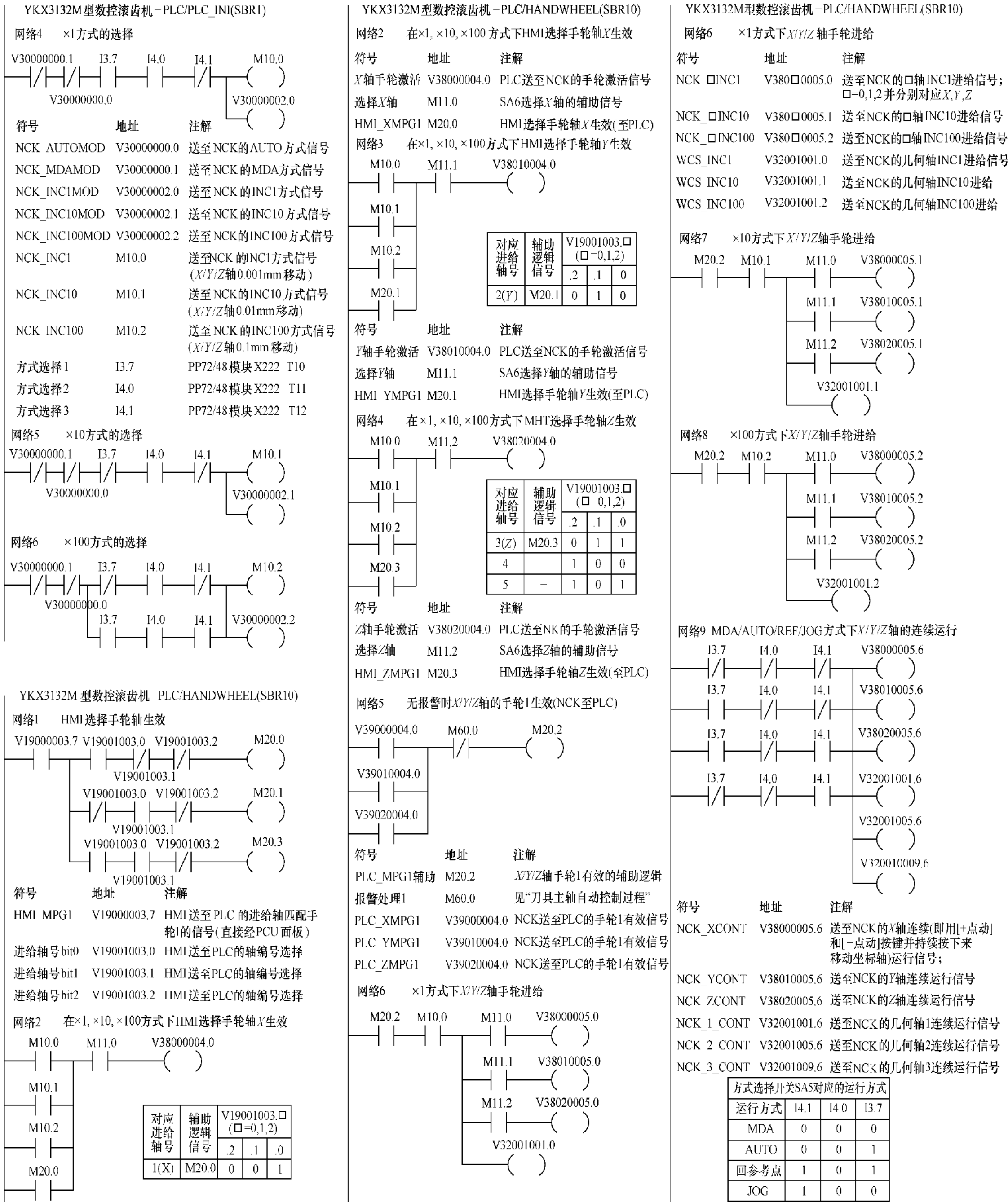
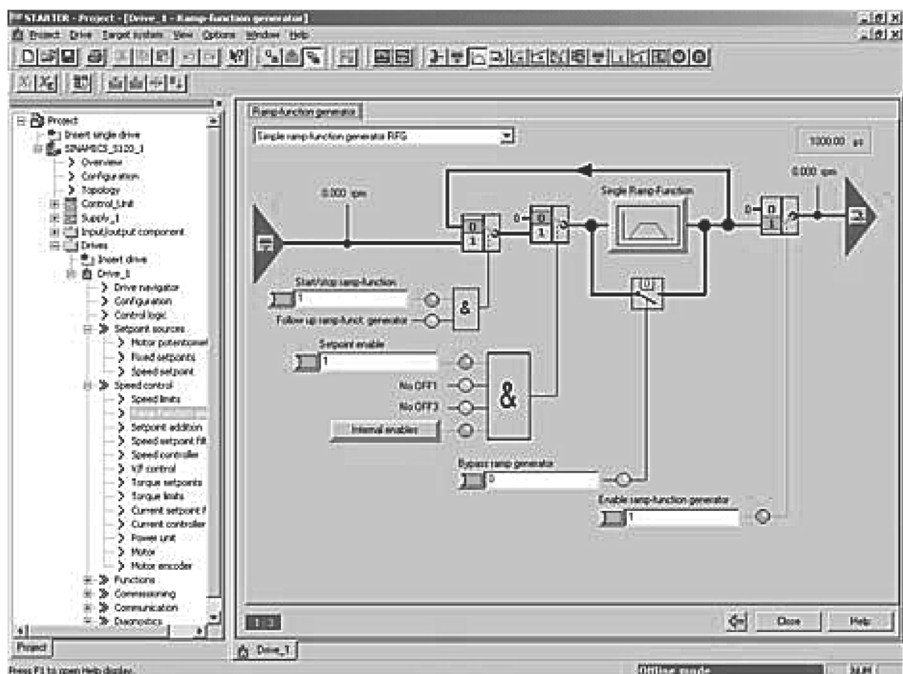


图 2-82 手轮进给方式下 X/Y/Z 轴移动的 PLC 程序



a)

参数范围	参数描述	参数范围	参数描述	参数范围	参数描述
0000～0099	装置的运行状态机常用只读参数	1300～1399	控制方式及V/F控制参数	7000～7499	装置并联参数
0100～0199	调试参数化，通常不需修改	1400～1799	闭环控制	7800～7899	RPROM读写参数
0200～0299	电动机模块参数，一般经DRIVE-CLiQ自动读取	1800～1899	脉冲触发控制	8500～8599	数据、宏管理
0300～0399	电动机参数	1900～1999	电动机识别及优化	8600～8799	CAN Bus
0400～0499	编码器参数	2000～2099	通信(Profibus)	8800～8899	通信板参数
0500～0599	工艺应用与单位	2100～2199	故障、报警、监控功能	9300～9899	安全功能(safety integrated)
0600～0699	电动机温度、最大电流监控等	2200～2399	PID控制器参数	9900～9949	拓扑比较参数
0700～0799	控制单元的数字量状态	2900～2930	固定值设定	9950～9999	内部诊断参数
0800～0839	数据组管理与切换	3400～3699	整流单元控制(ALM)	10000～10099	安全功能(safety integrated)
0840～0879	启停控制等命令(ON/OFF)	3800～3899	摩擦特性参数	11000～11299	自由工艺控制器1/2/3
0880～0899	控制字及状态字	3900～3999	管理参数	20000～20999	自由功能块
0990～0999	Profibus/Profidrive	4000～4199	端子板，端子模块参数(TM31，TB30)	21000～25999	DCC
1000～1199	设定值通道	4200～4399	端子模块(TM15，TM17)	61000～61999	Profinet相关参数
1200～1299	功能参数，如自动再启动、抱闸控制等	6000～6999	中压装置		

b)

图 2-83 STARTER 调试界面及 S120 涉及的参数与描述

a）STARTER 调试界面 b）SINAMICS S120 涉及的参数与描述

表 2-9 控制单元 CU320 的 LED 指示灯含义及故障原因

LED 灯	颜色	状态	故障原因	解决办法
RDY (READY)	—	关闭	控制单元未上电	检查供电线路，查看是否跳闸或断线等，必要时万用表进行检测
	绿色	常亮	准备好运行，模块操作就绪并有循环的 DRIVE－CLiQ 通信	正常状态
		闪烁（2Hz）	CF 卡正在执行写操作	
	红色	常亮	装置至少存在一个故障	有报警时根据提示进行解决，无报警时可用排除法进行原因查找
		闪烁（0.5Hz）	启动故障（如固件不能装载至 RAM）	检查 CF 卡是否正确插入及 CF 卡上数据的完好性；或用同型号的控制单元进行替换以排除故障
	绿色红色	闪烁（0.5Hz）	控制单元 CU320 就绪，但没有软件授权	需与西门子公司联系以获得授权
	橙色	常亮	DRIVE－CLiQ 通信已建立	正常状态
		闪烁（0.5Hz）	固件不能上装给 RAM	检查 CF 卡是否正确插入；或替换控制单元，再上电
DP1 (Profibus cyclic operation)	—	关闭	没有发生周期性通信	正常状态
	绿色	常亮	正在进行周期性通信	
		闪烁（0.5Hz）	周期性通信不完整，如主站未传送设定值，同步操作中未传送全局控制或主站生命周期	检查站点的设定
	红色	常亮	周期性通信受到干扰	排除影响通信的干扰源，对通信电缆进行屏蔽处理
OPT (OPTION)	—	关闭	未上电，模块未就绪或选件板未安装	检查电源供应和选件板的安装等
	绿色	常亮	选件板就绪	正常状态
		闪（0.5Hz）	取决于使用的选件板	—
	红色	常亮	模块至少有 1 个故障，或上电后选件板未就绪	有报警时根据提示进行解决，无报警时可用排除法进行原因查找
MOD	—	关闭	保留	
	绿色	常亮	保留	

表 2-10　电源模块的 LED 指示灯含义及故障原因

	LED 灯	颜色	状态	故障原因	解决办法
SLM（5kW/10kW）上 LED 指示灯	READY	—	关闭	装置无供电电压；或供电电压不在允许范围内	用万用表测 A1 接口的电源供应是否正常（通常 3 相 AC380V），无电压时继续向上查找整流电抗器和输入滤波器侧电源供应以及电路的输入电源是否正常等，超压时需要检测电路输入电源的规格是否与 SLM 匹配等
		绿色	常亮	装置操作就绪	正常状态
		红色	常亮	发生过温/过流切断主开关	用万用表检测 SLM 上 X21.2 与 X21.4 间不应有 +24V 电压（SLM 正常时存在该电压），此时可用同规格 SLM 替换之以排除硬件的故障；若 +24V 正常可查找 PLC 程序中关于 I8.4 的逻辑是否正常
	DC – LINK	—	关闭	装置无供电电压；或供电电压不在允许范围内	用万用表测 A1 接口的电源供应是否正常（通常 3 相 AC380V），无电压时继续向上查找整流电抗器和输入滤波器侧电源供应以及电路的输入电源是否正常等，超压时需要检测电路输入电源的规格是否与 SLM 匹配等
		黄色	常亮	直流母线电压在允许范围内	正常状态
		红色	常亮	直流母线电压不在允许范围内，供电出现故障	用万用表检测直流母线电压（正常为 DC513V）和 A1 接口的电源供应是否正常（通常为 3 相 AC380V），需考虑电网波动对 SLM 的影响
ALM 上 LED 指示灯	READY	—	关闭	供电电压不在允许范围内	用万用表测 A1 接口的电源供应是否正常，超压时需要检测电路输入电源的规格是否与 ALM 匹配
		绿色	常亮	装置操作就绪，并有周期性的 DRIVE – CLiQ 通信	正常状态
		橙色	常亮	正建立 DRIVE – CLiQ 通信	正常状态
		红色	常亮	组件存在至少 1 个故障	观察 SINUMERIK 系统的显示器上是否有报警，有报警时可结合《诊断指南》进行排除，无报警时可用排除法替换被怀疑的模块以验证状态是否完好
		绿色 红色	闪烁 （2Hz）	正下载固件；通过 LED 的组件识别被激活	正常状态
	DC – LINK	—	关闭	供电电压不在允许范围内	用万用表测 A1 接口的电源供应是否正常，超压时需要检测电路输入电源的规格是否与 ALM 匹配
		橙色	常亮	直流母线电压在允许范围内（仅在运行就绪情况下）	正常状态
		红色	常亮	直流母线电压不在允许范围内（仅在运行就绪情况下）	用万用表检测直流母线电压和 A1 接口的电源供应是否正常

表 2-11　电动机模块的 LED 指示灯含义及故障原因

LED 灯	颜色	状态	故障原因	解决办法
READY	—	关闭	装置无供电电压或供电电压不在允许范围内	检查电源模块是否正常，电动机模块上的直流母线是否连接至电源模块上；用万用表检测直流母线电压供应是否正常，并用同规格的电源模块替换等
	绿色	常亮	装置操作就绪并建立了周期性 DRIVE - CLiQ 通信	正常状态
	橙色	常亮	正建立 DRIVE - CLiQ 通信	正常状态
	红色	常亮	组件存在至少 1 个故障	观察 SINUMERIK 系统的显示器上是否有报警，有报警时可结合《诊断指南》进行排除，无报警时可采用排除法替换被怀疑的模块以验证状态是否完好
	绿色 红色	闪烁 (2Hz)	正下载固件；通过 LED 的组件识别被激活	正常状态
DC - LINK	—	关闭	供电电压不在允许范围内	用万用表检测直流母线电压供应是否正常，并用同规格的电源模块替换等
	黄色	常亮	直流母线电压在允许范围内（操作就绪时）	正常状态
	红色	常亮	直流母线电压不在允许范围内（操作就绪时）	用万用表检测直流母线电压供应是否正常，并用同规格的电源模块替换等。对配置了 SLM 和 BLM 的 S120 驱动器，考虑电网电压波动的影响

2. S120 驱动器的故障报警及实例分析

（1）S120 驱动器故障与报警的分类　SINAMICS S120 在非正常工作状态下运行时会出现故障与系统报警，其中以 F 打头外加 5 个数字的故障（如故障 F01005：下载 DRIVE - CLiQ 组件的固件失败），通常会导致 S120 驱动器停止工作；而以 A 打头外加 5 个数字的系统报警（如报警 A01006：DRIVE - CLiQ 组件的固件需要升级），不会导致 S120 驱动器停止运转。除此之外，还有以 C 打头外加 5 个数字的与安全相关的故障（如故障 C01700：SI 运动 CU_ STOP A 被触发）和以 N 打头外加 5 个数字的与内部软件相关的故障（如故障 N07415：驱动_ 换向角偏移传输运行）。值得注意的是：在 SINUMERIK 系统中，SINAMICS S120 的故障与报警是以 2 打头外加 5 个数字的形式呈现在显示器上（如 207016：驱动_ 电动机温度传感器故障，对应于 F07016），且故障与报警号的范围为 200000 ~ 299999（见表 2-12）。

表 2-12　SINUMERIK 系统中 S120 驱动器故障与报警的分类

故障与报警的范围	相关的模块	故障与报警的范围	相关的模块
201 000 ~ 203 999	控制单元	208 000 ~ 208 999	选件板
204 000 ~ 204 999	备用	209 000 ~ 212 999	备用
205 000 ~ 205 999	电动机模块	213 000 ~ 213 001	授权报警
206 000 ~ 206 899	电源模块	213 002 ~ 219 999	备用
206 900 ~ 206 999	制动模块	220 000 ~ 229 999	OEM
207 000 ~ 207 999	驱动部分	230 000 ~ 230 999	DRIVE - CLiQ 电动机模块

（续）

故障与报警的范围	相关的模块	故障与报警的范围	相关的模块
231 000 ~ 231 999	DRIVE – CLiQ 编码器 1	240 000 ~ 240 999	扩展模块 CX32
232 000 ~ 232 999	DRIVE – CLiQ 编码器 2	241 000 ~ 248 999	备用
233 000 ~ 233 999	DRIVE – CLiQ 编码器 3	249 000 ~ 249 999	SINAMICS GM/SM/GL
234 000 ~ 234 999	电压传感器模块 VSM	250 000 ~ 250 499	通信板 Comm. Board
235 000 ~ 235 199	端子模块 TM54F	250 500 ~ 259 999	OEM
235 200 ~ 235 999	端子模块 TM31	260 000 ~ 265 535	SINAMICS DC 变频（闭环直流电流控制）
236 000 ~ 236 999	DRIVE – CLiQ HUB 模块		

注：关于故障与报警的详细解释请参考《SINAMICS S120/S150 List Manual》_ 2011. 01

（2）S120 驱动器故障与报警的实例分析

1）S120 出现“205057：并联电路_ 功率部件的固件版本不同”故障。

① 原因是并联电路中功率部件的固件版本不一致，且故障记录保存在驱动器的故障缓冲区内（参数 r0949）。

② 解决方法：在标准调试工具 STARTER 的组态 Configuration 界面下 Firmware 子页面内找到硬件的版本信息并进行升级，使并联设备的固件版本保持一致即可消除 205057 报警。升级模块固件版本的操作步骤（见图 2-84）如下：

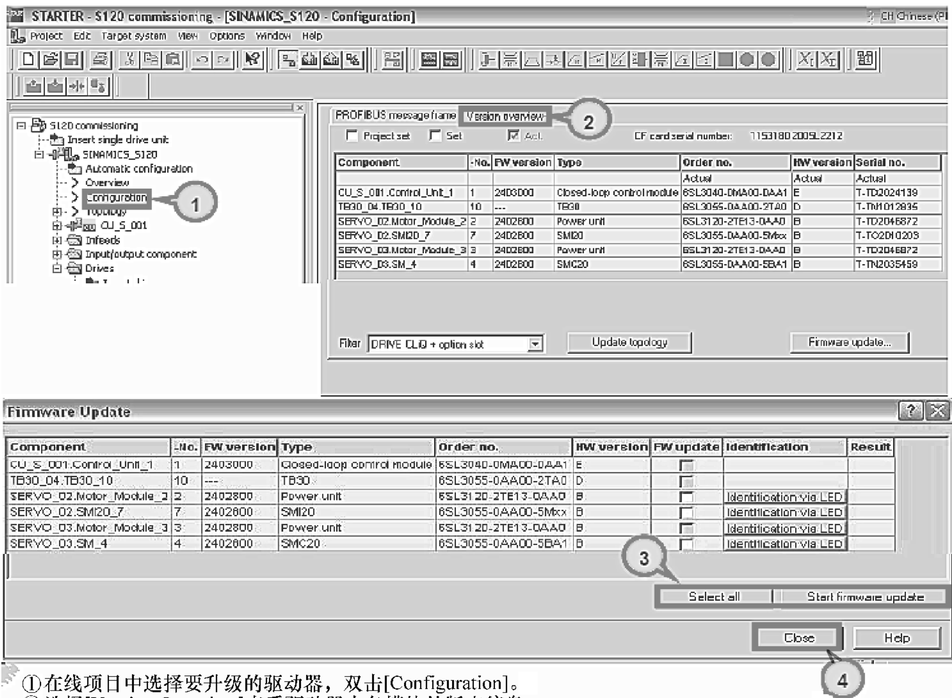


图 2-84　利用 STARTER 软件升级模块的固件版本

2）一台配置了 802Dsl 系统和 S120 驱动器的数控机床，在使用编码器转换模块 SMC30 连接 TTL/HTL 编码器信号时 PCU 面板上出现“23n100：编码器 n_ 零脉冲距离出错”和“23n101：

编码器 n_ 零脉冲故障”（n = 1，2 分别表示编码器 1 和 2）的报警提示。

① 引起 23n100 和 23n101 故障的可能原因有两个：一是编码器输入频率超出范围，二是零脉冲信号出现的时间间隔过短。

② 23n100 和 23n101 故障的监控机理：SMC30 内含一个零脉冲监控器，用于对两个零标记（零脉冲）间的编码器脉冲进行计数。当编码器频率超过 300kHz 时，编码器脉冲可能丢失或不能识别零标记；此时 S120 驱动器会将编码器状态字 Gn_ ZSW 中第 15 位（故障位）置 1 并在 SINAMICS 参数 r0481［n - 1］中显示，同时向 PCU 面板输出故障信息 23n100 和 23n101 进行显示。

③ 解决方法：可将驱动切换至无编码器方式来解决此问题。操作时应先将 SINAMICS 参数 p1404（无编码器方式转换速度）设为合理数值以提供可靠的速度信号，再设定 SINAMICS 参数 p1402. 1 = 1（即转速实际值大于 p1404 的设定值时编码器驻留进而切换至无编码器运行方式）；最后在 802Dsl 系统中根据公式 $MD36300 = 0.95 \times \frac{p1404 \times p0408}{60}$（式中 p0408 为编码器的脉冲数）设定与编码器极限频率相关的机床数据 MD36300ENC_ FREQ_ LIMIT。

④ 举例：每圈脉冲数为 5000 的 SIMODRIVE 位置编码器（6FX2001 - 2CF00）作为主轴的直接测量系统，此时主轴电动机转速达到 3600r/min 时编码器脉冲的频率将达到上限 300kHz。基于机床安全运行的考虑，要求速度达到 3000r/min 以上时 S120 驱动器切换至无编码器运行方式。如此 p1404 = 3000r/min，p1402. 1 = 1，p0408 = 5000，$MD36300 = 0.95 \times \frac{3000 \times 5000}{60} = 237500\text{Hz}$。

3）配置了 SINUMERIK 802Dsl 系统和 SINAMICS S120 驱动器的 YKX3132M 型数控滚齿机（详见第 2. 2. 2 节），因使用过程中 PCU 面板上出现“700001：驱动 OK 报警”和“700019：电源模块过热报警”而无法运转。

① HMI 上出现报警号 700001 和 700019，是因为与之相对应的 PLC 用户接口信号 V16000000. 1 和 V16000002. 3 被接通，进而传送至 NCK。

② 同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入 SYSTEM 操作区基本画面。依次按下画面内的［PLC］键和［PLC 程序］键进入在线 PLC 程序画面，按下垂直软键［程序模块］，移动光标键选择 SBR12（ALARM_ HD）子程序并将其打开。先后使 PLC 程序行定位至 Network4 和 Network22（见图 2-85），发现 I8. 3 与 I8. 4 的常闭触点均处于接通状态（负逻辑信号 ＊I8. 3 = 1、＊I8. 4 = 1，且无报警时的正常状态下 I8. 3 = 1、I8. 4 = 1）。

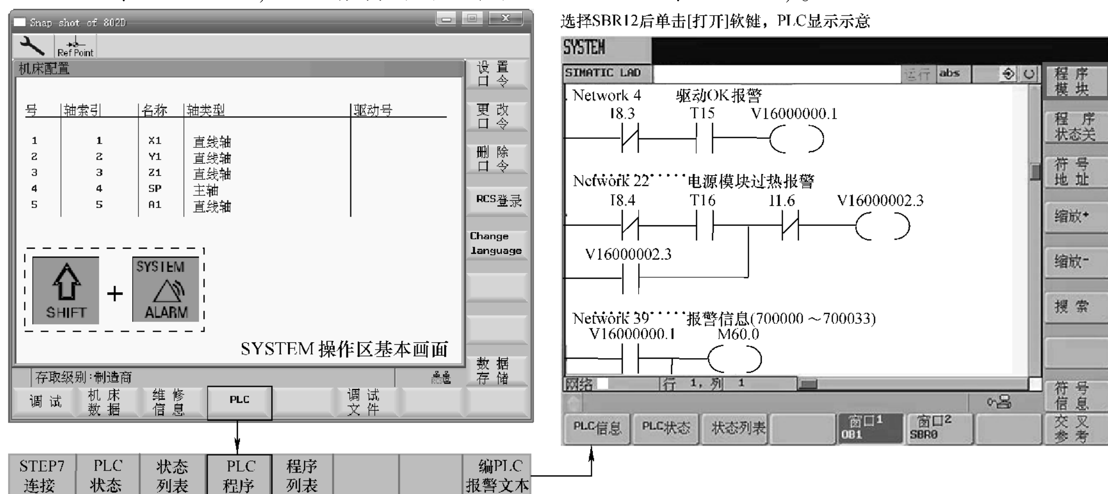


图 2-85 YKX3132M 型数控滚齿机 S7 - 200PLC 程序的在线查看

③ 依据图 2-77“S120 驱动器在 YKX3132M 型数控滚齿机上的连接”可知：PLC 输入信号 I8.3 与 I8.4 分别直接来自于非调节型电源模块 6SL3130－6AE21－0AB0 的输出信号 X21.1 和 X21.2，700001 报警时 X21.1 所串联的 SLM 内部准备好继电器的常开触点未闭合（正常应闭合），700019 报警时 X21.2 所串联的 SLM 内部过电流监控继电器的常开触点未闭合（正常应闭合）。

④ 打开机床电控柜门查看非调节型电源模块上 LED 指示灯的状态，READY 灯点亮呈红色，说明 SLM 处于故障状态（正常时 READY 灯为绿色）。

⑤ 用万用表（见图 2-86）检测非调节型电源模块上电子电源接口（X24）的 DC24V，测量结果为 21.79V。按住 MCP 上［灯检查］按钮 SB13（PLC 输入信号 I1.5）进行按钮指示灯状态测试，当用万用表继续检测 SLM 上接口 X24 的 DC 24V 时，测量结果为 20.60V。

⑥ 这两个直流电压均与 SLM 要求供应的 DC24V 差别太大，可能造成 SLM 启动未就绪。于是检查机床的 DC 24V 供应线路，发现直流电源模块 6EP1334－1SL11 提供的 DC24V 被接入机床的接线端子排，而 SLM 上接口 X24 的 DC 24V 引自接线端子排。如此，进入工作状态的相关直流负载会使接线端子排上的 24V 电压下降，进而导致 SLM 启动不能就绪。

⑦ 更改电气线路，将直流电源模块供应的 DC 24V 直接引至 SLM 的 X24 接口。机床重新上电后，SLM 启动就绪且 PCU 面板上的报警消除，机床恢复正常运转。

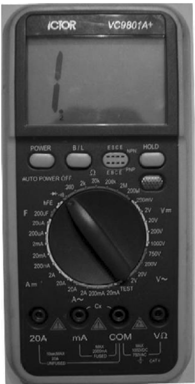


图 2-86　数字式万用表

第3章

西门子伺服执行元件及故障维修

用于主轴驱动和进给驱动的 SIMODRIVE 伺服装置或新一代的 SINAMICS 伺服装置是数控装置（NC 和 PLC）与机床本体（床身和工作台等）之间的联系环节。当数控机床工作时数控装置的 NC 部分将插补后的位置和速度指令以电信号形式传送至 SIMODRIVE 驱动系统或 SINAMICS 驱动系统进行功率的放大（将电信号放大为电动机适合的强电信号），然后驱动尾部带脉冲编码器的异步电动机或同步电动机旋转，进而以一定的速度控制机床运动部件移动并按程序指令加工出工件廓形。其中作为伺服执行元件的主轴电动机和进给轴电动机是机床电气控制和机械动作之间的耦合媒介（见图 3-1）。本章将以西门子公司 1PH 系列等主轴电动机和 1FT/1FK 系列等进给轴电动机为例，为读者介绍伺服执行元件的应用连接及故障维修。

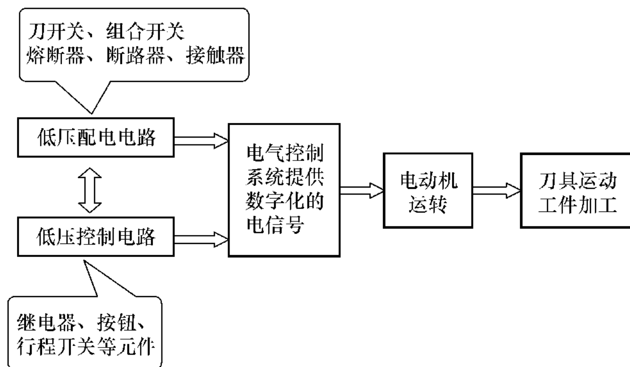


图 3-1　数控机床的机电控制关系图

3.1　主轴电动机及故障

主轴是完成主运动的动力装置，属于机床的重要部件之一。现代数控机床对主轴传动具有较高的要求：一是主轴调速范围要足够大（如恒转矩调速范围达 1∶100～1∶1000，恒功率调速范围达 1∶30）并可通过 S 指令实现无级调速以适合各种工况的切削任务，二是主轴过载 1.5 倍时仍可持续工作达 30min 以上，三是主轴传动应具有四象限驱动能力，以确保正反转时主轴可在很短的时间内进行加减速控制（如 1s 内主轴可从静止加速到 6000r/min 及以上），四是高速旋转的主轴在承载较大切削力时应保持良好的精度和刚度等，五是主轴既可与进给轴实现同步控制，又可进行高精度的定向准停，甚至具有角度分度控制功能等以满足刚性攻丝和螺纹切削等加工工艺要求，六是主轴应具有恒线速度切削控制功能（根据 $V=\pi Dn$，随切削直径的逐渐减小而主轴转速不断提高，保证径向进给刀具的切削线速度恒定）以保证车削端面或磨削端面时端面粗糙度

的高度一致性。

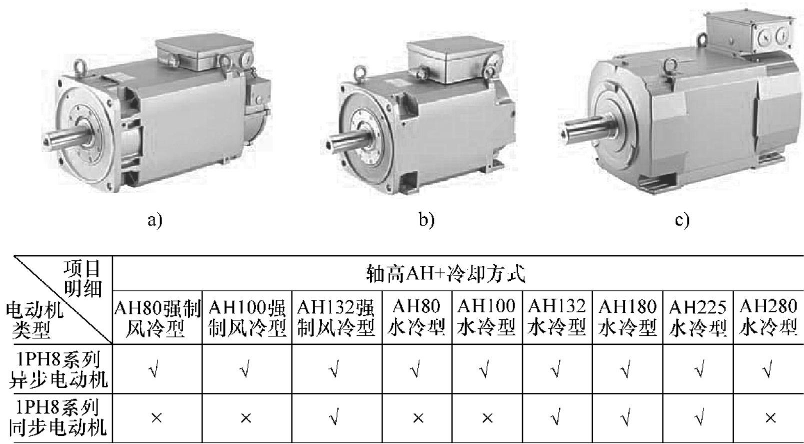
鉴于此，除在主轴传动的机械结构上采取必要的措施外（如齿轮传动时齿轮齿面采用高频感应加热淬火工艺以增加其耐磨性，最后一级采用斜齿轮传动以确保传动更加平稳；带传动时选用同步带；配置高精度轴承及合理的支承跨距以提高主轴组件的刚度；结构允许条件下适当增加齿轮宽度以提高齿轮的重叠系数；变速滑移齿轮采用内径定心的花键传动；以及配置动平衡装置和循环润滑装置等），还应选择动态性能高和调速范围宽的具有位置控制等功能的主轴电动机。

3.1.1 常用主轴电动机的应用连接

为满足现代数控机床对于高速高效切削和低速大转矩切削场合的主轴传动技术日益发展的需要，西门子公司不仅开发出1PH2、1PH4、1PH6、1PH7和1PH8等系列的异步主轴电动机，还推出了1PM4/1PM6空心轴异步主轴电动机、1PL6系列异步主轴电动机、1PH8系列同步主轴电动机和2SP1系列电主轴。用户可根据实际进行选用，并与SIMODRIVE 611或SINAMICS S120驱动系统相配合使用。

1. 1PH8系列异步/同步主轴电动机

1PH8系列电动机（见图3-2）是西门子公司基于模块化设计理念推出的一款高动态响应（即启动耗时短）的紧凑型三相交流主轴电动机，因其具有最大转速高达20000r/min、跳动误差低至10μm的卓越性能及连接调试简便灵活（电子铭牌和DRIVE－CLiQ接口）的特点，而被广泛应用于配置了SINAMICS驱动系统（S120或S120 Combi）的紧凑型数控机床、复合加工中心/车削中心和全闭环数控铣床上。防护等级高达IP55/IP56的1PH8系列电动机不仅可以为高负载铣削主轴提供主动力，还可以为车床上的副主轴或动力刀具以及造纸和印刷工业中的偏心旋转轴提供主动力。目前该电动机有紧凑异步型（笼型转子）和紧凑同步型（磁极式转子）两种类型，当其与SINAMICS驱动系统组合使用时，需要在驱动器上对应选择矢量控制和伺服控制。此外，为满足闭环控制要求，该电动机可选用配置的编码器系统以检测电动机转速和间接位置，同时还可为机床提供 C 轴编码器系统。


a)　b)　c)

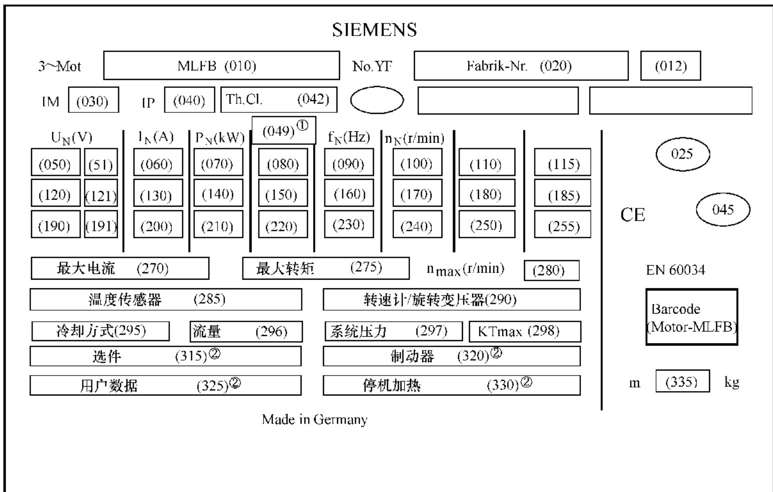
项目 明细 / 电动机类型	轴高AH+冷却方式								
	AH80强制风冷型	AH100强制风冷型	AH132强制风冷型	AH80水冷型	AH100水冷型	AH132水冷型	AH180水冷型	AH225水冷型	AH280水冷型
1PH8系列异步电动机	√	√	√	√	√	√	√	√	√
1PH8系列同步电动机	×	×	√	×	×	√	√	√	×

图3-2 1PH8系列异步/同步主轴电动机

a）AH80～AH132强制风冷型电动机　b）AH80～AH132水冷型电动机　c）AH180～AH280水冷型电动机

注：√表示该类型电动机中具有此规格（轴高AH＋冷却方式），×表示该类型电动机中无此规格。

（1）1PH8系列电动机的功率铭牌及数据说明　通常在电动机的功率铭牌上标注了该电动机的额定参数、使用极限和相关认证等信息。设计人员和维修人员应了解和读懂功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机。1PH8系列电动机的功率铭牌及数据说明，如图3-3所示。



a)

编号	描　述
010	MLFB
012	流水号
020	工厂编号
025	UL-标志
030	结构型式
040	防护等级
042	绝缘材料等级
049	同步电动机：额定转速下的感应电压U_{IN}
	异步电机：cosφ
050 120 190	3个不同额定工作点下的额定电压U_N
051 121 191	3个不同额定工作点下的开关方式，与电源模块的类型相关
060 130 200	3个不同额定工作点下的额定电流I_N

编号	描　述
070 140 210	3个不同额定工作点下的额定功率P_N
080 150 220	3个不同额定工作点下的cosφ
090 160 230	3个不同额定工作点下的额定频率f_N
100 170 240	3个不同额定工作点下的额定转速n_N
110 180 250	3个不同额定工作点下的运行方式，即电动机的工作制
115 185 255	3个不同的额定工作点下，简化变频器参数设定的代码编号

编号	描　述
270	最大电流I_{max}
275	最大转矩M_{max}
280	最大转速n_{max}
285	温度传感器
290	转速计或旋转变压器
295	冷却方式
296	流量(单位为L/min或m^3/s)
297	系统压力
298	最大冷却液温度
315	选件Ⅰ
320	选件Ⅱ
325	可选用户数据
330	停机加热
335	重量(单位为kg)

b)

图 3-3　1PH8 系列电动机的功率铭牌及数据说明

a）1PH8 系列电动机功率铭牌的基本结构　b）1PH8 系列电动机功率铭牌的数据说明

① 同步电动机时为 U_{IN}（单位为 V），异步电动机时为 cosφ。② 此栏也可以为空（可选）。

（2）1PH8 系列主轴电动机与 SINAMICS S120 的应用连接　如图 3-4 所示。

1）带 DRIVE - CLiQ 接口的 1PH8 系列电动机（优先使用）：1PH8 系列电动机不仅通过一根 MOTION CONNECT DRIVE - CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块实现信号连接，还通过一根动力电缆自 SINAMICS 电动机模块上获取电力供应。连接时 DRIVE - CLiQ 信号电缆的插头必须完全插入直至卡锁弹簧扣紧，且防护等级按 IP67（IP 为标记字母，第 1 个标记数字 6 表示接触保护和外来物保护的等级，第 2 个标记数字 7 表示防水保护等级，防护等级说明见表 3-1）执行。工作时 DRIVE - CLiQ 接口通过集成的 DC24V 电源向电动机编码器供电，并向控制单元传输温度传感器信号和电动机编码器信号以及电子铭牌数据（如唯一的识别号、电压、电流和转矩等额定数据）。

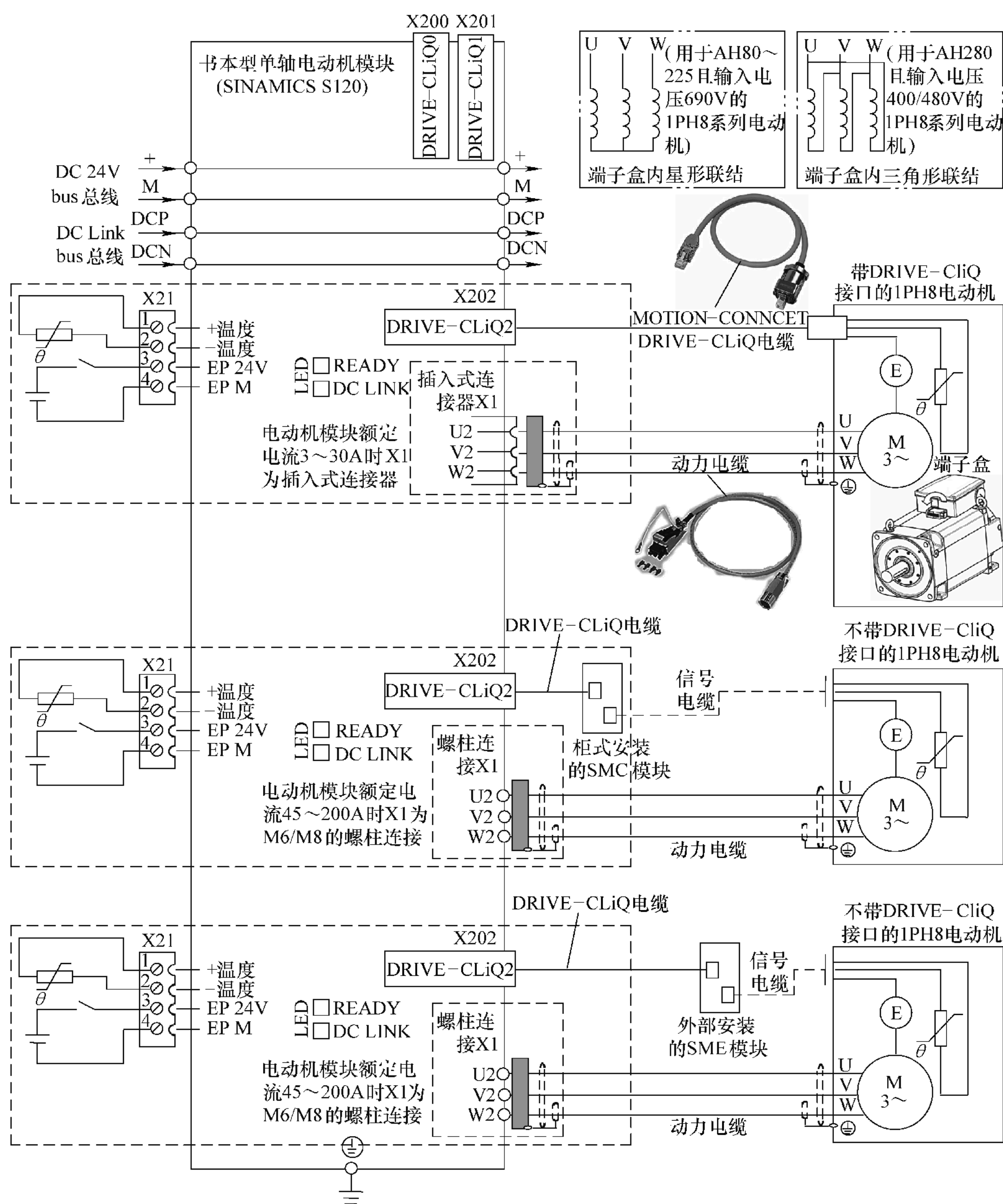


图3-4 1PH8系列主轴电动机与SINAMICS S120的应用连接

表3-1 IP防护等级说明（按照EN60529/IEC529）

接触保护和外来物保护等级（第一个数字）			防水保护等级（第二个数字）		
第一个数字	防护范围		第二个数字	防护范围	
	名称	说明		名称	说明
0	无防护		0	无防护	
1	防护50mm直径和更大的固体外来体	探测器，球体直径50mm不应完全进入	1	水滴防护	垂直落下的水滴不应引起损害

（续）

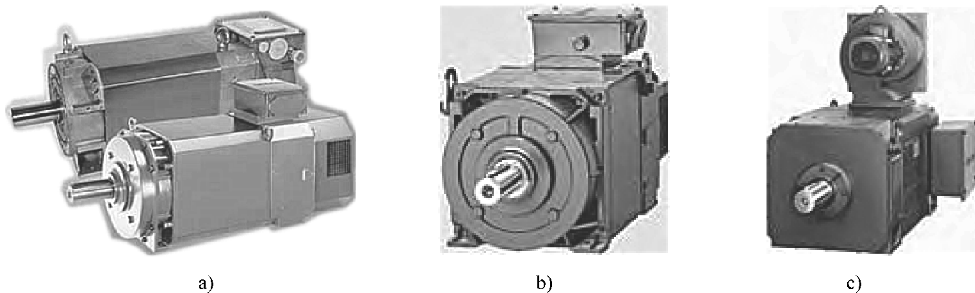
接触保护和外来物保护等级（第一个数字）			防水保护等级（第二个数字）		
第一个数字	防护范围		第二个数字	防护范围	
	名称	说明		名称	说明
2	防护 12.5mm 直径和更大的固体外来体	探测器，球体直径 12.5mm 不应完全进入	2	柜体倾斜 15°时防护水滴	柜体向任何一侧倾斜 15°时，垂直落下的水滴不应引起损害
3	防护 2.5mm 直径和更大的固体外来体	探测器，球体直径 2.5mm 不应完全进入	3	防护溅出的水	以 60°从垂直线两侧溅出的水不应引起损害
4	防护 1.0mm 直径和更大的固体外来体	探测器，球体直径 1.0mm 不应完全进入	4	防护喷水	从每个方向对准柜体的喷水都不应引起损害
5	防护灰尘	不能完全阻止灰尘进入，但灰尘进入数量不会对设备造成伤害	5	防护射水	从每个方向对准柜体的射水都不应引起损害
6	灰尘封闭	柜体内在 2000Pa 的低压时不应进入灰尘	6	防护强射水	从每个方向对准柜体的强射水都不应引起损害
			7	防护短时浸水	柜体在标准压力下短时浸入水中时，不应有能引起损害的水量浸入
			8	防护长期浸水	可在特定条件下浸入水中，不应有能引起损害的水量浸入

2）不带 DRIVE – CLiQ 接口的 1PH8 系列电动机：该类型的电动机除使用动力电缆与 SINAMICS 电动机模块进行正常连接外，还需通过一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 或外部安装的编码器转换模块 SME 及一根信号电缆来实现与 SINAMICS 电动机模块的信号（包含温度传感器信号和电动机编码器信号）连接。其中 SMC 或 SME 仍通过 MOTION CONNECT DRIVE – CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块进行通信。

2. 1PH7 系列异步主轴电动机

1PH7 系列电动机是西门子公司为搭配成本效益和高输出功率而推出的一款带有笼型转子的三相交流异步电动机，它不但没有外壳（定子即是电动机的外壳）使电动机结构紧凑，而且轴向/径向安装的外部风扇单元（正常通风方向为电动机驱动端至非驱动端）可进行强制风冷（防护等级 IP55）使电动机产生的热量迅速远离机床；它不但内嵌了一个通过插头或 DRIVE – CLiQ 进行连接的用于电动机速度和间接位置检测的编码器模块（具有标准的 *C* 轴操作功能），而且通过温度传感器 KTY84 对电动机的温度进行监控（电阻变化与绕组温度变化成正比，20℃和 100℃时 KTY84 的电阻值分别约为 580Ω 和 1kΩ，120℃ ±5℃时电阻值约为 1.2kΩ 并进行过热报警响应，155℃ ±5℃时电阻值约为 1.5kΩ 并由数字式控制板来关断伺服电动机的电源）；它不但通过动力电缆和集成的端子盒与 SIMODRIVE 611D 或 SINAMICS S120 等驱动系统实现连接以驱动机床主轴，而且具有 AH100～160 和 AH180、AH225、AH280 的框架尺寸（见图 3-5）可适合带传动或齿轮传动的多种应用场合；它不但具有 12000r/min 的最高转速，而且转速设置到零时仍可获得全部额定转矩。因此，1PH7 系列异步电动机不仅被广泛应用于配置了 SIMODRIVE 611 或

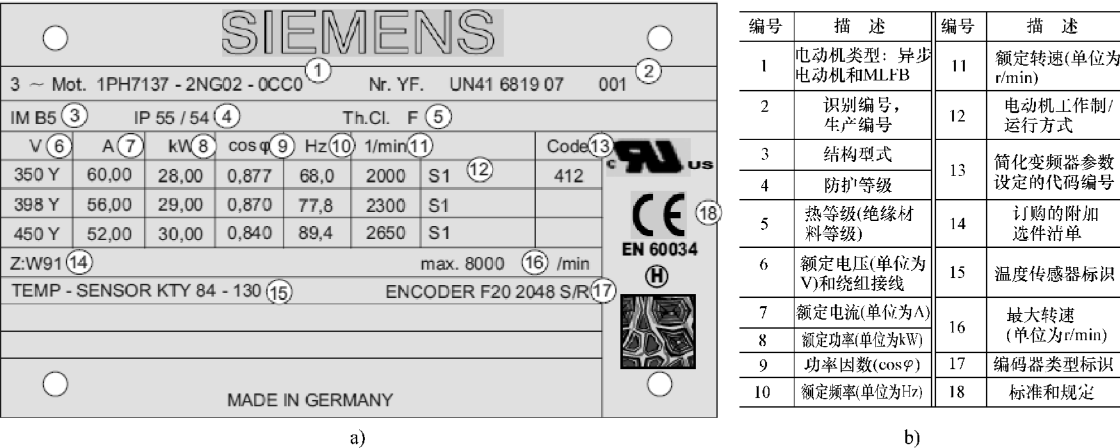
SINAMICS S120 等驱动系统的小型紧凑结构的数控机床上，还可用于印刷机的独立驱动装置、起重机的提升装置和闭合装置以及橡胶、塑料、线缆、玻璃生产等多种场合。



a)　　b)　　c)

图 3-5　1PH7 系列异步主轴电动机
a）AH100 ~ 160 型电动机　b）AH180、AH225 型电动机　c）AH280 型电动机

（1）1PH7 系列异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明　如图 3-6 所示，通常在电动机的功率铭牌上标注了该电动机的额定参数、使用极限和相关认证等信息。设计人员和维修人员应了解和读懂功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机。



a)

编号	描　述	编号	描　述
1	电动机类型：异步电动机和MLFB	11	额定转速(单位为r/min)
2	识别编号，生产编号	12	电动机工作制/运行方式
3	结构型式	13	简化变频器参数设定的代码编号
4	防护等级		
5	热等级(绝缘材料等级)	14	订购的附加选件清单
6	额定电压(单位为V)和绕组接线	15	温度传感器标识
7	额定电流(单位为A)	16	最大转速(单位为r/min)
8	额定功率(单位为kW)		
9	功率因数(cosφ)	17	编码器类型标识
10	额定频率(单位为Hz)	18	标准和规定

b)

图 3-6　1PH7 系列异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明
a）功率铭牌的基本结构　b）功率铭牌的数据说明

（2）1PH7 系列异步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 和 SINAMICS S120 的应用连接　国外进口数控机床的主轴绝对大多数采用数字式驱动系统进行控制。

1）带 DRIVE – CLiQ 接口的 1PH7 系列主轴电动机（见图 3-7）：1PH7 系列主轴电动机不仅通过一根防护等级为 IP67 的 MOTION CONNECT DRIVE – CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块实现信号连接，还通过一根动力电缆自 SINAMICS 电动机模块上获取电力供应。所获得的电力用于 SINAMICS 驱动系统的 1PH7 系列主轴电动机内含的一个由编码器（1 个）和温度分析系统（1 个）及电子铭牌（1 个）组成的编码器模块，该模块被安装在非驱动端的电动机端子盒上，并配有一个 10 针 RJ45plus 插座（DRIVE – CLiQ 接口）以连接 DRIVE – CLiQ 信号电缆。连接该信号电缆时必须使 DRIVE – CLiQ 电缆连接头完全插入直至嵌入闭锁弹簧。为了改变电缆的引出方向以满足现场结构布局的要求，可在允许的旋转区域内（约 320°且旋转角度改变最多不超过 10 次）用 4 ~ 8N · m 的标准转矩手动旋转编码器模块。工作时，DRIVE – CLiQ 接口通过集成的

DC24V 电源向电动机编码器模块供电，并向控制单元传输温度传感器信号和电动机编码器信号以及电子铭牌数据（如唯一的识别号、电压、电流和转矩等额定数据）。编码器模块仅在原始电动机上运行，不能装在其他电动机上使用或用其他电动机上的编码器模块代替。

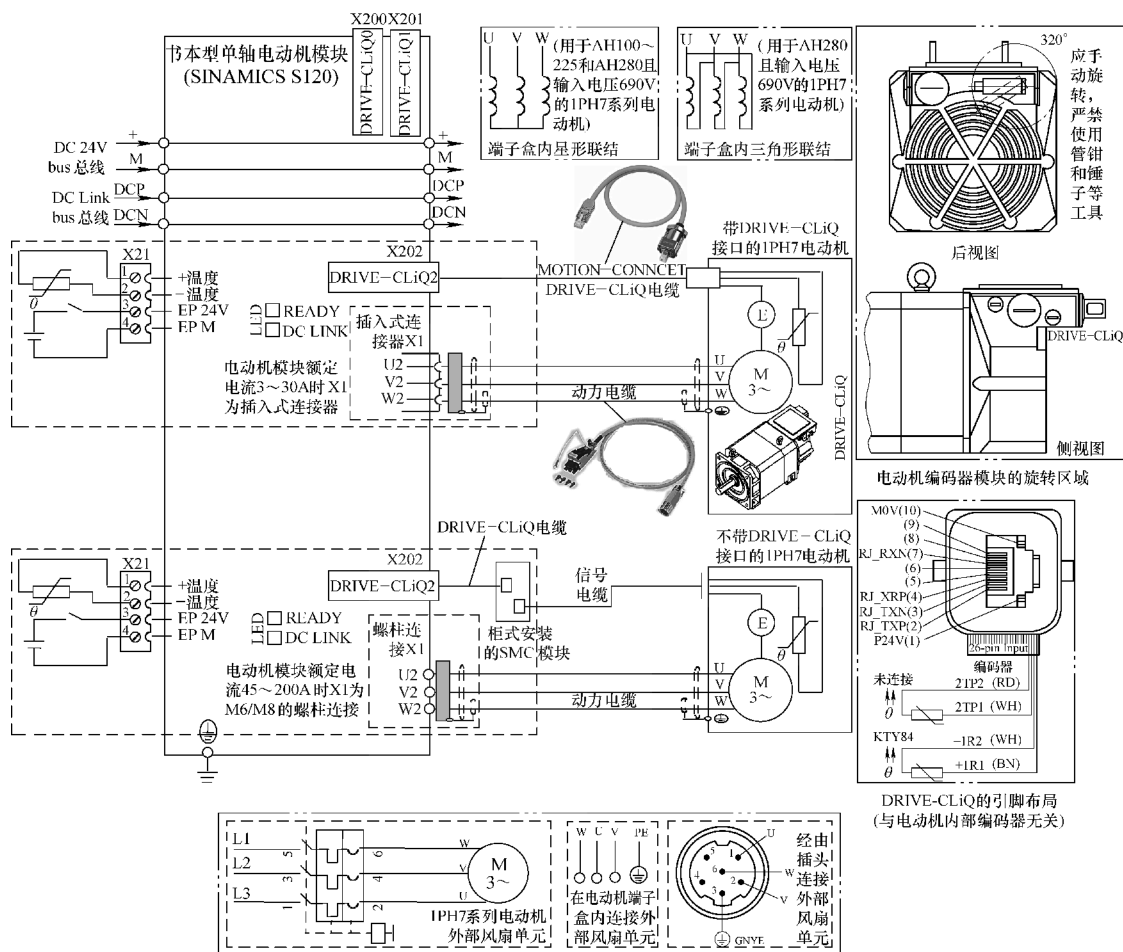


图 3-7　1PH7 系列异步主轴电动机与 SINAMICS S120 的应用连接

2）不带 DRIVE－CLiQ 接口的 1PH7 系列主轴电动机：该类型电动机除使用动力电缆与 SIMODRIVE 611D 主轴驱动模块和 SINAMICS S120 电动机模块进行正常连接外，还需通过一根信号电缆将 1PH7 系列主轴电动机的编码器模块连接至 SIMODRIVE 611D 功率模块的 X411 接口（见图 3-8），或者通过一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 和一根信号电缆来实现编码器模块与 SINAMICS S120 电动机模块的信号（包含温度传感器信号和电动机编码器信号）连接，其中 SMC 仍通过 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS S120 电动机模块进行通信。

3）电动机外部风扇单元的连接：为使 1PH7 系列电动机工作时产生的热量迅速远离机床，需要通过电动机的端子盒或外部风扇的端子盒连接一个外部风扇单元以进行强制风冷（机床一开机风扇单元就工作），并且在风扇电动机的进线电路中需加装一个与之匹配的全极断路保护开关以避免风扇单元异常运行（如通风装置不畅或不运行时接通主轴电动机）。

4）1PH7 系列主轴电动机的接地（见图 3-9）：在特定的应用情况下，主轴电动机的接地电阻 Zhg 比所连接齿轮箱等负载的接地电阻 Zrg 要差。当主轴电动机的电缆较长及其安装绝缘良好时，主轴电动机的电容放电电流会从电动机外壳通过电动机心轴流至所连接的负载，最后流回大

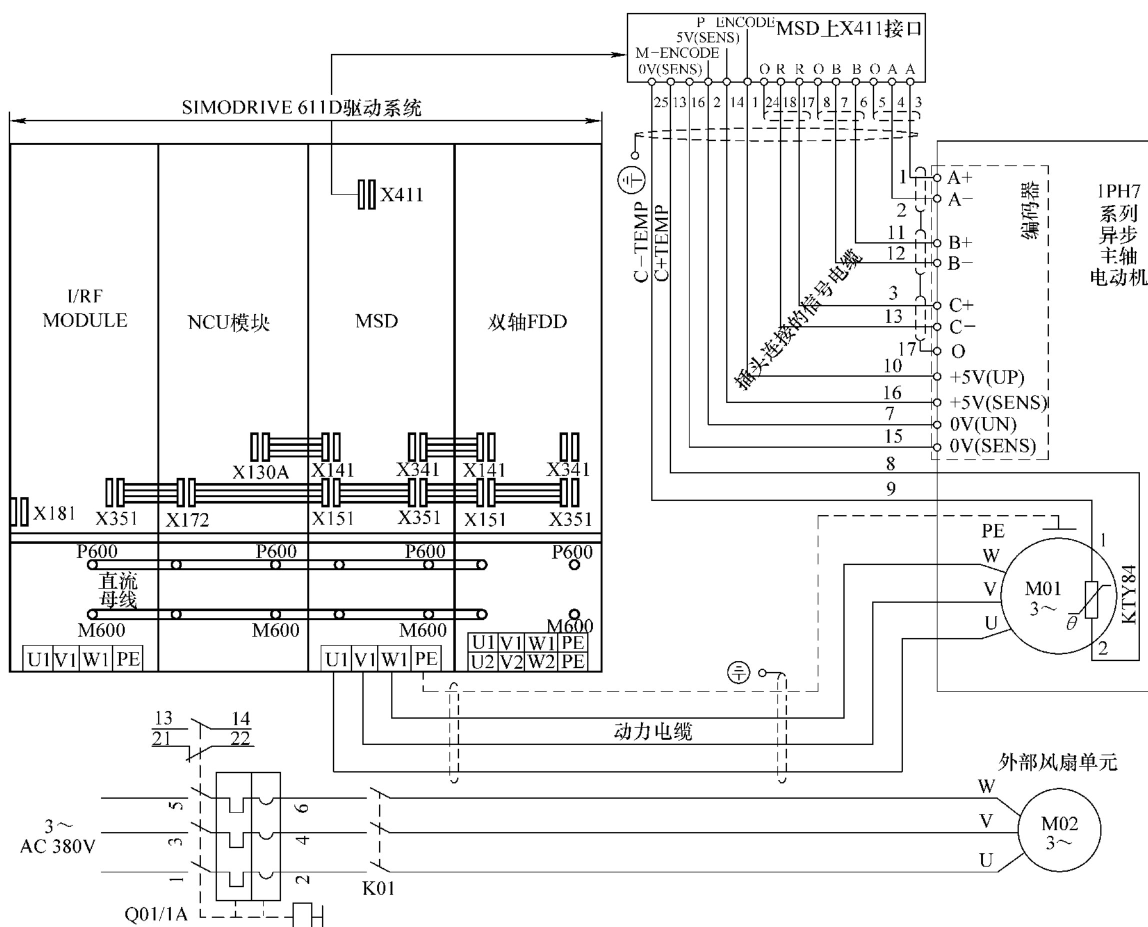


图 3-8　1PH7 系列异步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的应用连接

地，如此支承轴承过电被电蚀（电流在旋转的轴承滚道轮和滚动体接触部分流动时，通过薄薄的润滑油膜发出火花，其表面出现局部的熔融和凹凸现象，被称为电蚀。产生电蚀的原因是轴承内外圈之间存在电位差，通过对使用的轴承进行绝缘处理即可防止其过电）而在其滚子的滚动面或内圈的滚道面上出现局部熔融和凹凸现象。因此，为了避免产生转子接地电流，1PH7 系列主轴电动机的外壳须进行良好的接地控制。常用的接地控制手段包括

① 通过屏蔽电缆（屏蔽层也为两侧大面积安装即 360°触点）连接 1PH7 主轴电动机和主轴驱动模块。

② 通过一个电气绝缘联轴器连接 1PH7 主轴电动机和齿轮箱等负载。

③ 因机械原因不能使用电气绝缘联轴器时，须通过均匀厚带或金属片将电动机外壳与齿轮箱等负载进行表面连接，以使电容放电电流直接从电动机外壳流至负载而不通过支承轴承。

3. 1PH4 系列水冷型异步主轴电动机

1PH4 系列电动机是西门子公司为满足高温、粉尘或污垢等恶劣环境对高功率密度“冷态”电动机的需求而推出的一款带有笼型转子的水冷型三相交流异步电动机（见图 3-10），被广泛应用于配置了 SIMODRIVE 611D 或 SINAMICS S120 等驱动系统的高负荷铣削主轴和车床副轴上以及可提供冷却水的特殊工业领域（如高温等恶劣环境）中；由此既有效消除了电气驱动装置的热损耗对机械加工精度造成的负面影响，又通过大转矩和小体积（低转动惯量）的结合进一步

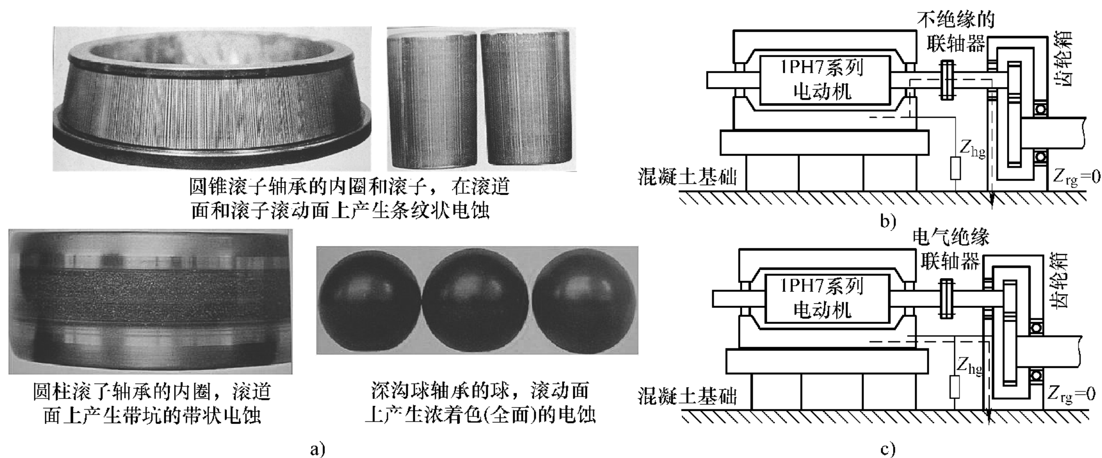


图 3-9 1PH7 系列主轴电动机的接地控制

a）支承轴承过电被电蚀的后果 b）根据接地比例的轴承电流（=转子接地电流）

c）电动机外壳和负载之间合理的接地连接

缩短了 1PH4 系列电动机的加速和制动时间，并且紧凑型的设计结构使 1PH4 系列电动机的最大转速提高至 9000r/min（可选 12000r/min）。具有较高防护等级 IP65（电动机轴输出端为 IP55）的 1PH4 系列电动机装有一个支持 *C* 轴操作的编码器系统，它不仅可用来检测电动机转速和间接位置，还可在机床上进行 *C* 轴操作。

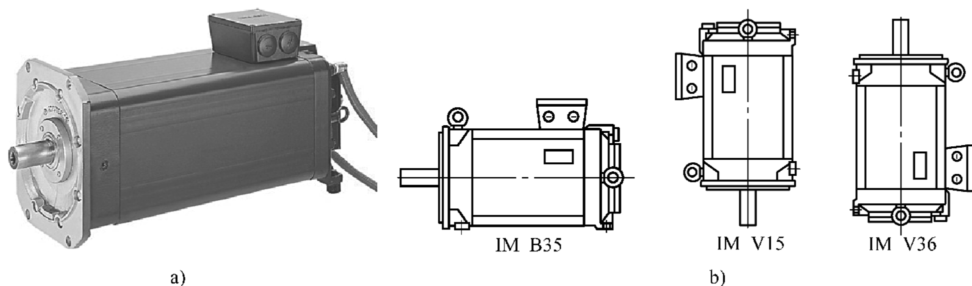


图 3-10 1PH4 系列水冷型异步主轴电动机及其结构型式

a）1PH4 系列电动机实物 b）1PH4 系列电动机的结构型式

（1）1PH4 系列水冷型异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明 如图 3-11 所示，通常在电动机的功率铭牌上标注了该电动机的额定参数、使用极限和相关认证等信息。设计人员和维修人员应了解和读懂功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机。

（2）1PH4 系列水冷型异步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 和 SINAMICS S120 的应用连接 关于 1PH4 系列水冷型异步主轴电动机与 SINAMICS S120 的应用连接，可参见“图 3-4 1PH8 系列主轴电动机与 SINAMICS S120 的应用连接”。

1）带 DRIVE－CLiQ 接口的 1PH4 系列主轴电动机：1PH4 系列主轴电动机不仅通过一根防护等级为 IP67 的 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块实现信号连接，还通过一根动力电缆自 SINAMICS 电动机模块上获取电力供应。所获得的电力用于 SINAMICS 驱动系统的 1PH4 系列主轴电动机内含的一个由编码器（1 个）和温度分析系统（1 个）及电子铭牌（1 个）组成的编码器模块（Sensor Module），该模块可替代信号插头并配有一个 10

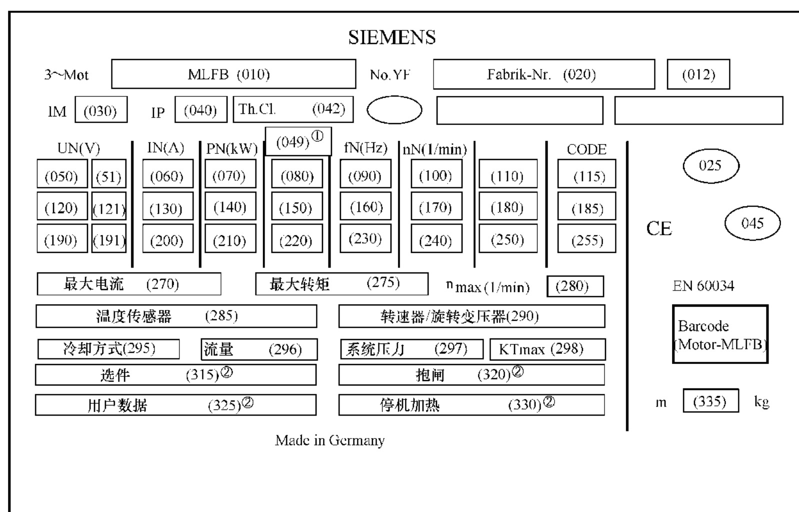


图 3-11　1PH4 系列异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明

① $U_{输入}$（单位 V）针对同步电动机，$\cos\varphi$ 针对异步电动机。

② 此栏也可空置（可选）。

注：1PH4 系列电动机功率铭牌的数据说明，可参见“图 3-3 1PH8 系列电动机的功率铭牌及数据说明”。

芯 RJ45plus 插头（DRIVE－CLiQ 接口）以连接 DRIVE－CLiQ 信号电缆。连接 DRIVE－CLiQ 信号电缆时其插头必须完全插入直至卡锁弹簧扣紧。为了改变电缆的引出方向以满足现场结构布局的要求，编码器模块可用 4～8N·m 的标准转矩手动旋转约 180°。工作时，DRIVE－CLiQ 接口通过集成的 DC24V 电源向电动机编码器模块供电，并向控制单元传输温度传感器信号和电动机编码器信号以及电子铭牌数据（如唯一的识别号，电压、电流和转矩等额定数据）。

2）不带 DRIVE－CLiQ 接口的 1PH4 系列主轴电动机：该类型电动机除使用动力电缆与 SIMODRIVE 611D 的主轴驱动模块和 SINAMICS S120 的电动机模块进行正常连接外，还需通过一根信号电缆将 1PH4 系列主轴电动机的编码器模块连接至 611D 功率模块的 X411 接口（见图 3-12），或者通过一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 或外部安装的编码器转换模块 SME 和一根信号电缆来实现编码器模块与 SINAMICS 电动机模块的信号（包含温度传感器信号和电动机编码器信号）连接。其中 SMC/SME 仍通过 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块进行通信。

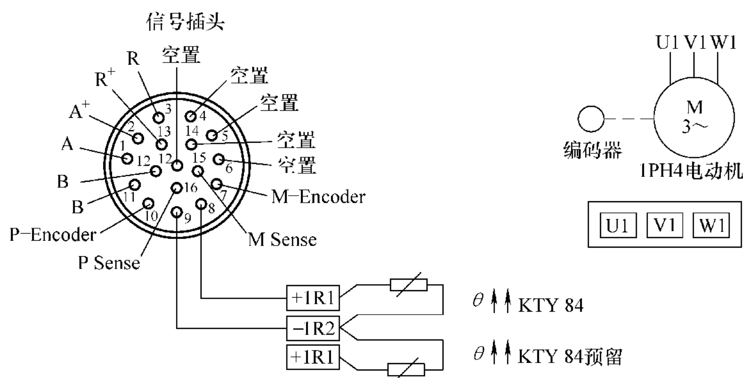
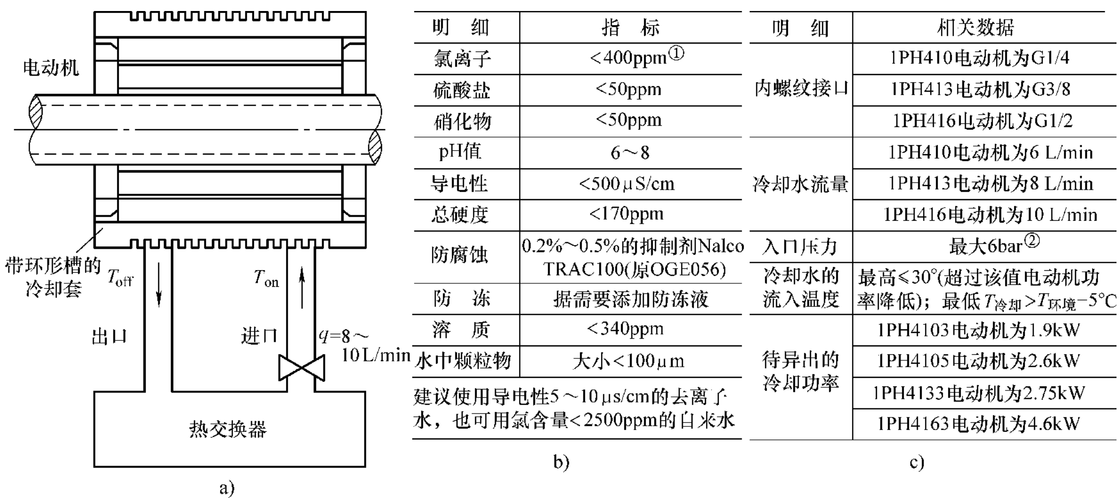


图 3-12　1PH4 系列水冷型异步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的应用连接

3）1PH4 系列主轴电动机水冷系统的连接（见图 3-13）：电动机水冷系统的入口和出口属于自由选择的内螺纹联接，并位于电动机轴承端盖的非驱动端上。连接水冷回路时，不仅要确保冷却水的水质（禁止使用其他冷却介质，但在冷却水中可加入足量的添加剂以防止腐蚀和藻类滋长），还要确保冷却水的流量；不仅要在水冷回路的入口处连接一个用于防止异物进入的过滤装置（100μm）和一个高压阀（在过滤装置后面），还要使用一个热交换器（即冷却装置）以保证冷却介质的进入温度为 20℃。如果需要现场使用节流阀手动控制冷却水的流量时，可将节流阀装于 1PH4 系列电动机的后面（出口处）。严禁在入口前进行节流以防气蚀作用损坏电动机。



明　细	指　标
氯离子	<400ppm①
硫酸盐	<50ppm
硝化物	<50ppm
pH值	6～8
导电性	<500μS/cm
总硬度	<170ppm
防腐蚀	0.2%～0.5%的抑制剂Nalco TRAC100(原OGE056)
防　冻	据需要添加防冻液
溶　质	<340ppm
水中颗粒物	大小<100μm
建议使用导电性5～10μs/cm的去离子水，也可用氯含量<2500ppm的自来水	

b)

明　细	相关数据
内螺纹接口	1PH410电动机为G1/4
	1PH413电动机为G3/8
	1PH416电动机为G1/2
冷却水流量	1PH410电动机为6 L/min
	1PH413电动机为8 L/min
	1PH416电动机为10 L/min
入口压力	最大6bar②
冷却水的流入温度	最高≤30°(超过该值电动机功率降低)；最低$T_{冷却}>T_{环境}-5°C$
待异出的冷却功率	1PH4103电动机为1.9kW
	1PH4105电动机为2.6kW
	1PH4133电动机为2.75kW
	1PH4163电动机为4.6kW

c)

图 3-13　1PH4 系列异步主轴电动机的封闭型水冷系统

a）冷却原理图　b）冷却水的水质规定　c）冷却水的技术参数

① ppm = 10^{-6}，　② 1bar = 10^5Pa。

4. 1PH2 内置异步主轴电动机

1PH2 内置式主轴电动机是西门子公司推出的一款带有笼型转子的液体冷却型三相交流异步电动机（见图 3-14），被广泛应用于对加工质量、精度和运行平稳性要求极高的闭环控制的机床主轴上，如配置了 SIMODRIVE 611D 驱动系统的数控车床、数控铣床和数控磨床及加工中心等。1PH2 主轴电动机主要由笼型转子（带轴套和不带轴套两种型式）、定子和液体冷却组件等组成，其转子与定子组装后通过圆柱形阶梯压配合（热收缩法进行装配，油压法进行拆解）直接安装于机床主轴上而成为一个完整的电动机主轴单元。由于它摒弃了联轴器、带传动和齿轮箱等机械组件而使得电动机结构非常紧凑且噪声较低；由于它的输出转矩以无间隙方式向机床主轴（无径向力）传递而使得较低转速下的主轴运动相当平稳精确，进而可以获得极高的工件加工质量和精度；由于它的转子已进行了机加工而使得转子安装后不再对其外径进行加工。带轴套的 1PH2 主轴电动机转子在必要时可采用油压法进行拆卸并重新安装，安装后依据 ISO1940－1 标准对转子进行平衡处理，它的最高转速可达 10000r/min，在 S1 工作制下额定转矩可达 750N・m。而不带轴套的 1PH2 主轴电动机转子不能进行拆卸且无需动平衡处理，它的最高转速可达 18000r/min，在 S1 工作制下额定转矩可达 250N・m，它还可被安装于传统主轴上。

（1）1PH2 主轴电动机的测量系统　1PH2 主轴电动机不仅可安装一个具有 *C* 轴操作能力的 SIMAG H2 空心轴测量系统用来检测电动机转速和间接位置，还可通过定子绕组中的 2 个温度传感器 KTY84（其中 1 个备用）进行温度监控以防止电动机过热。其中 SIMAG H2 空心轴测量系统是一种由测量轮（轴锁紧螺母固定或拧紧于轴肩上或冷缩法固定）、带连接电缆的探测头和连接工具三部分组成的用于 1PH2 内置异步主轴电动机或 1FE1 内置同步主轴电动机上的增量式测

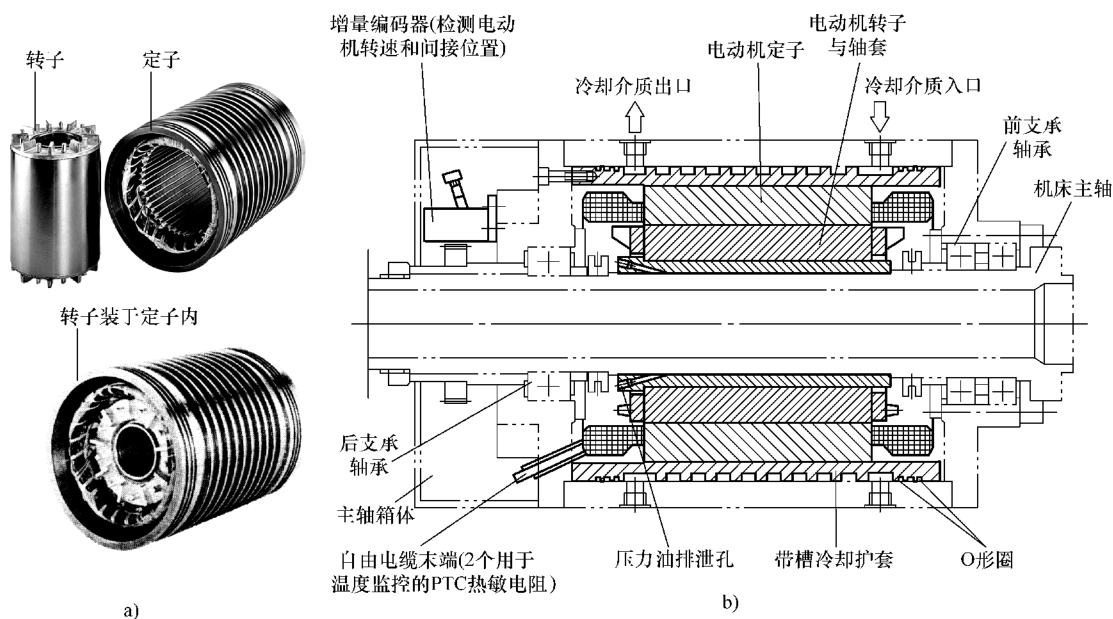
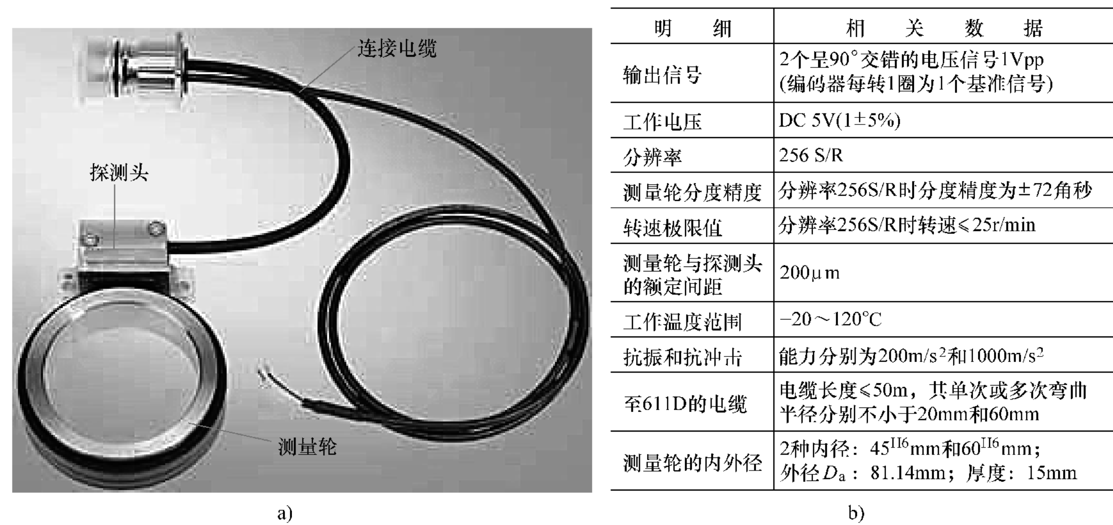


图 3-14　1PH2 内置异步主轴电动机及其装配图

a）1PH2 内置异步主轴电动机的实物　b）1PH2 内置异步主轴电动机的装配图（带轴套）

量系统（见图 3-15），它作为独立的主轴编码器用来检测转角和旋转速度信号，并在新应用中代替 SIZAG 2 空心轴测量系统。1PH2 主轴电动机通过动力电缆自 SIMODRIVE 611D 的主轴驱动模块获取电力供应，并经由固定在 SIMAG H2 探测头（非接触方式探测测量轮上的增量式轨迹和基准轨迹，然后放大信号）上的一根电缆实现与 611D 功率模块上接口 X411 的连接。



明　细	相　关　数　据
输出信号	2个呈90°交错的电压信号1Vpp (编码器每转1圈为1个基准信号)
工作电压	DC 5V(1±5%)
分辨率	256 S/R
测量轮分度精度	分辨率256S/R时分度精度为±72角秒
转速极限值	分辨率256S/R时转速≤25r/min
测量轮与探测头的额定间距	200μm
工作温度范围	−20～120°C
抗振和抗冲击	能力分别为$200m/s^2$和$1000m/s^2$
至611D的电缆	电缆长度≤50m，其单次或多次弯曲半径分别不小于20mm和60mm
测量轮的内外径	2种内径：45^{H6}mm和60^{H6}mm； 外径D_a：81.14mm；厚度：15mm

b)

图 3-15　SIMAG H2 空心轴测量系统及技术参数

a）SIMAG H2 空心轴测量系统实物　b）SIMAG H2 空心轴测量系统的技术参数

（2）1PH2 主轴电动机水冷系统的连接（见图 3-16）　具体内容请参见“图 3-13　1PH4 系列异步主轴电动机的封闭型水冷系统”。

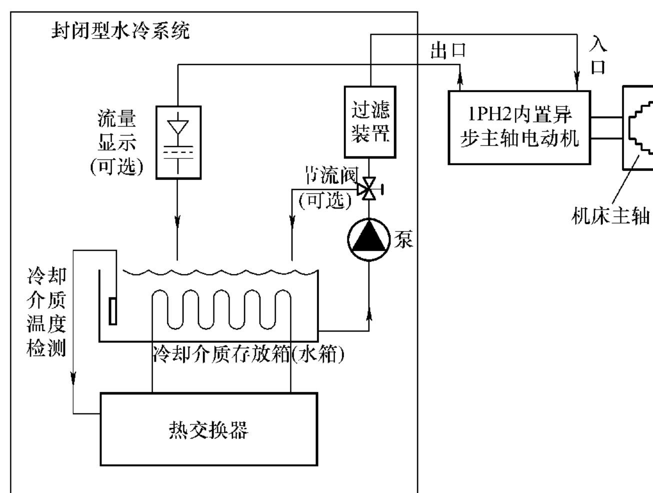


图 3-16　1PH2 主轴电动机封闭型水冷系统连接实例

5. 1PL6 系列异步主轴电动机

1PL6 系列电动机是西门子公司推出的一款带有笼型转子的紧凑型三相交流异步电动机，主要有 1PL618、1PL622 和 1PL628 等电动机类型（见图 3-17）。它不但没有外壳（定子即是电动机的外壳）使电动机结构紧凑，而且轴向/径向安装的外部风扇单元（正常通风方向为电动机驱动端至非驱动端）进行强制风冷（防护等级 IP23）使电动机产生的热量迅速远离机床；它既有极高的功率密度（输出功率达到 630kW，与防护等级 IP55 的 1PH7 系列异步主轴电动机相比输出功率高出 50% ~60%），又有 AH180、AH225 和 AH280 的框架尺寸，可用于无腐蚀性气体的干燥室内安装；它既可根据控制要求选择合适的编码器系统以检测电动机速度和间接位置，又可通过温度传感器 KTY84 对电动机的温度进行监控（电阻变化与绕组温度变化成正比，20℃和 100℃时 KTY84 的电阻值分别约为 580Ω 和 1kΩ，120℃ ±5℃时电阻值约为 1.2kΩ 并进行过热报警响应，155℃ ±5℃时电阻值约为 1.5kΩ 并由数字式控制板来关断伺服电动机的电源）；它不但通过动力电缆和集成的端子盒与 SINAMICS S120 驱动器实现连接以驱动机床主轴，而且经由 DRIVE－CLiQ 将电动机编码器信号和温度传感器信号传送至 SINAMICS S120 驱动器；它既可使用管道连接外部冷却装置以确保电动机满功率输出，又可配置悬臂负载高的轴承以确保转速下降至零时仍可获得全部额定转矩。因此，1PL6 系列异步电动机不仅适用于配置了 SINAMICS S120 驱动器的小型紧凑结构的数控机床，还可用于印刷机的驱动装置、起重机的提升装置和闭合装置以及橡胶、塑料、线缆生产等多种场合。

1PL6 系列异步主轴电动机经动力电缆和 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS S120 驱动器的连接以及外部风扇单元的连接，请参见第 3.1.1 节“1PH7 系列异步主轴电动机”中的相关内容。

6. 1PM4/1PM6 空心轴异步主轴电动机

液体（水或油）冷却式空心轴电动机 1PM4 和空气冷却式空心轴电动机 1PM6 是西门子公司为满足市场对高功率密度“冷态”电动机的需求而推出的一款直接安装于机床主轴上的笼型转子式三相 4 极交流异步电动机（见图 3-18），它可应用于配置了 SIMODRIVE 611D 驱动系统或 SINAMICS S120 驱动器的紧凑型加工中心或特种机床上以及具有内部冷却的直接驱动式刀具系统中；由此既有效消除了电气驱动装置（尤其是直接安装在主轴上的驱动装置）的热损耗对机械加工精度造成的负面影响，又通过大转矩和小体积（低转动惯量）的结合进一步缩短了 1PM4/

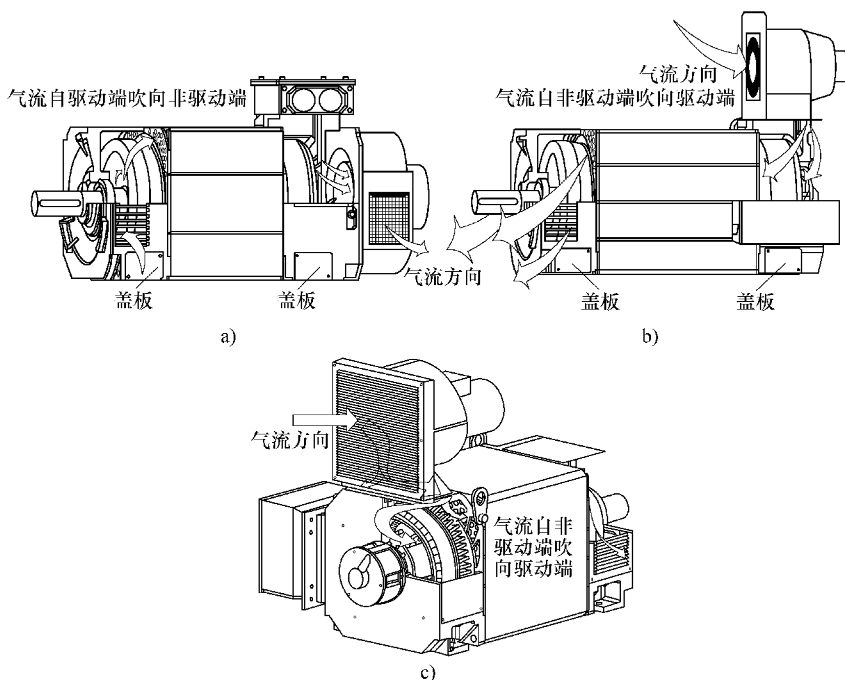


图 3-17　1PL6 系列异步主轴电动机及其外部风扇单元
a）AH180/AH225 型轴向通风的 1PL618/1PL622 电动机
b）AH180/AH225 型径向通风的 1PL622 电动机
c）AH280 型径向通风的 1PL628 电动机

1PM6 电动机的加速和制动时间进而节省了非生产性时间，并且紧凑型的设计结构使 1PM4/1PM6 电动机的最大转速提高至 12000r/min（可选 18000r/min）。防护等级分别为 IP65 和 IP55 的 1PM4 液体冷却式电动机（轴输出端为 IP55）与 1PM6 空气冷却式电动机（风扇为 IP54），不但内置有一个空心轴测量系统（即每转 256 个脉冲的增量式编码器，其中不带 DRIVE－CLiQ 接口的电动机编码器为无 C、D 相 sin/cos 1Vpp 信号的 IN256S/R，带 DRIVE－CLiQ 接口的电动机编码器为分辨率 524288 的 IN19DQ）以检测电动机转速和间接位置，而且为了使空心轴电动机散出的热量远离机床，可在 1PM4 电动机非传动轴端（电动机尾部）的伸出轴上安装用于注入切削液的旋转接头，也可在 1PM6 电动机的顶部安装轴流风扇或右侧安装径向风扇进行强制通风降温（气流从电动机轴侧吹向非传动轴侧）。

（1）1PM4/1PM6 空心轴异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明（见图 3-19）　通常每个电动机带有标注了额定参数、使用极限和相关认证等信息的两块功率铭牌，一块装在电动机上，另一块装在接线盒中。设计人员和维修人员应了解和读懂电动机功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机。

（2）1PM4/1PM6 空心轴异步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 和 SINAMICS S120 的应用连接

首先通过电动机功率铭牌中订货号 MLFB（即图 3-19 的编号 1）的第 9 个位置上的字母“L”或“V”来确定 1PM4/1PM6 空心轴电动机编码器型号及是否带有 DRIVE－CLiQ 接口，其中字母“L”表示不带 DRIVE－CLiQ 接口的增量式编码器 sin/cos 1Vpp 256S/R（编码器 IN256S/R），字母“V”表示带 DRIVE－CLiQ 接口的 19 位增量式编码器（分辨率 524288 的编码器 IN19DQ）。

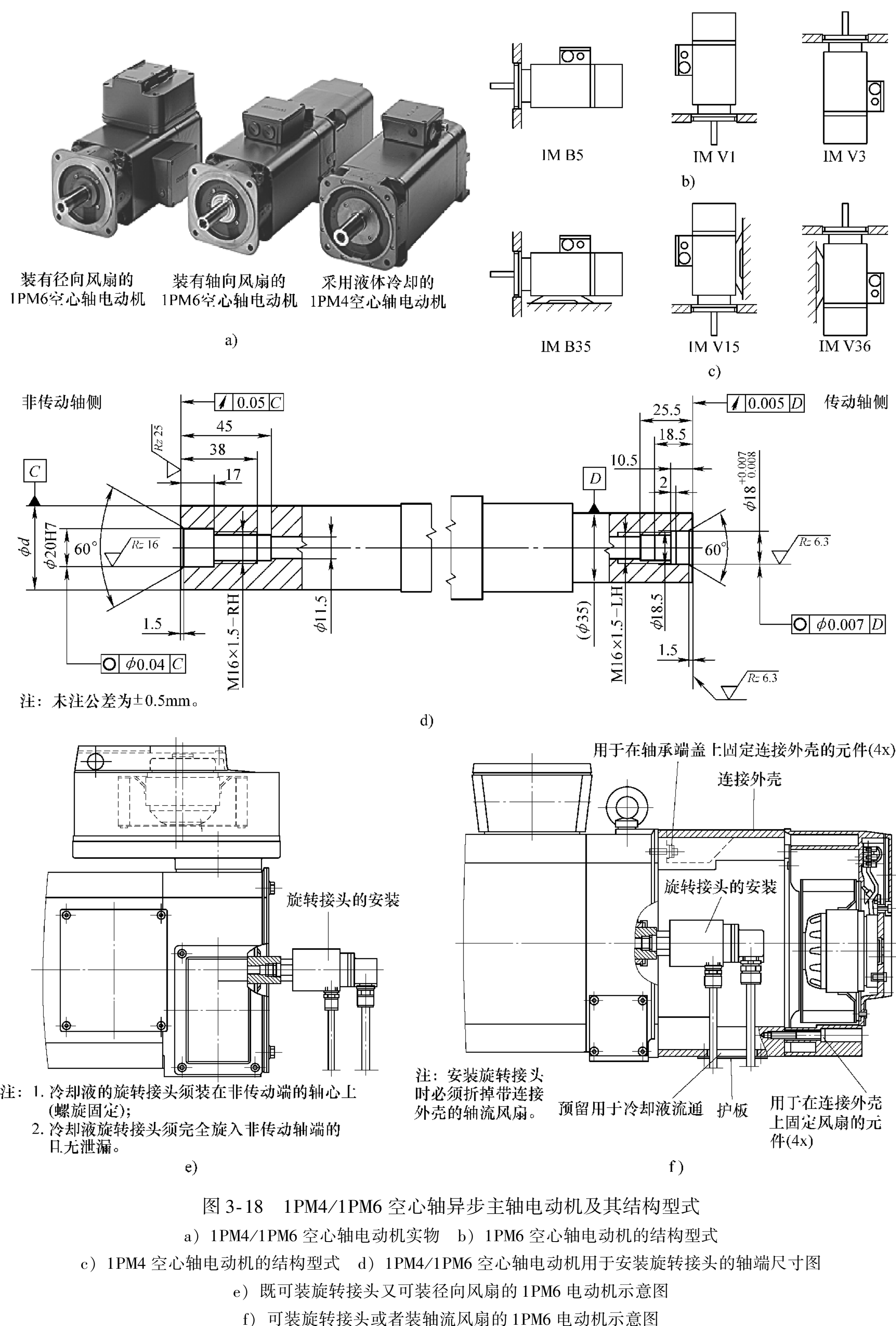


图 3-18 1PM4/1PM6 空心轴异步主轴电动机及其结构型式

a）1PM4/1PM6 空心轴电动机实物 b）1PM6 空心轴电动机的结构型式

c）1PM4 空心轴电动机的结构型式 d）1PM4/1PM6 空心轴电动机用于安装旋转接头的轴端尺寸图

e）既可装旋转接头又可装径向风扇的 1PM6 电动机示意图

f）可装旋转接头或者装轴流风扇的 1PM6 电动机示意图

SIEMENS

3 ~ Mot. ① 1PM6105 - 2LF84 - 1CR1 - Z ② No. YF. W431 99999 01 001

③ IM V1 ④ IP 55 TH. CL. 155 (F) ⑤

U_N (V)	I_N (A)	P_N (kW)	cos φ	f_N (Hz)	n_N(1/min)	⑰	CODE ⑱
300 Y	23,00	7,50	0,76	52,2	1500	S1	624
375 Δ	24,00	7,50	0,59	134,4	4000	S1	625
⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪		

⑫ n_{max} 18000 1/min

C US ⑲ EN 60034

⑬ KTY 84-130 ⑭ ENCODER IN256S/R S01

⑮ Z: L37

m: 69 kg ⑯

Made in Germany

a)

编号	描　述	编号	描　述
1	电动机类型：异步电动机和MLFB	11	额定转速(单位为r/min)
2	识别编号，生产编号	12	最大转速(单位为r/min)
3	结构形式	13	温度传感器标识
4	防护等级	14	编码器类型标识
5	耐热等级	15	附加选件L37表示可提高的最大转速
6	额定电压(单位为V)和绕组接线	16	重量(单位为kg)
7	额定电流(单位为A)	17	电动机工作制/运行方式
8	额定功率(单位为kW)	18	简化变频器参数设定的代码编号
9	功率因数(cosφ)	19	标准和规定
10	额定频率(单位为Hz)		

b)

电动机类型	无选件L37功能(噪声69dB+3dB)			带选件L37功能(噪声72dB+3dB)		
注：□=4, 6	最大转速/(r/min)	最大连续转速/(r/min)	电动机轴承规格	最大转速/(r/min)	最大连续转速/(r/min)	电动机轴承规格
1PM□101	12000	12000	带润滑脂的深沟球轴承	18000	18000	主轴轴承或单列深沟球轴承
1PM□105	12000	12000		18000	18000	
1PM□133	10500	10000		15000	15000	
1PM□137	10500	10000		12000	12000	
1PM6138	10500	10000		11000	11000	

c)

图 3-19　1PM4/1PM6 空心轴异步主轴电动机的功率铭牌及数据说明

a）功率铭牌的基本结构　b）功率铭牌的数据说明　c）1PM4/1PM6 电动机功率铭牌上是否带有 L37 功能的区别

1）带 DRIVE－CLiQ 接口的 1PM4/1PM6 空心轴电动机（见图 3-20）：该类型电动机优先使用一根防护等级为 IP67 的 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆将空心轴测量系统连接至 SINAMICS S120 的电动机模块，并由 DRIVE－CLiQ 接口通过集成的 DC24V 电源向空心轴测量系统供电，同时向控制单元（802Dsl、828D 或 840Dsl 等）传输温度传感器信号和电动机编码器信号以及电子铭牌数据（如唯一的识别号和电压、电流、转矩等额定数据）；其中 MOTION－CONNECT 为西门子的预制电缆，且 DRIVE－CLiQ 电缆可供所有类型的编码器使用。另外，该类型电动机还通过一根动力电缆自 SINAMICS 电动机模块上获取电力供应。

2）不带 DRIVE－CLiQ 接口的 1PM4/1PM6 空心轴电动机：该类型电动机除使用动力电缆与 SIMODRIVE 611D 主轴驱动模块和 SINAMICS S120 电动机模块进行正常连接外，还需通过一根 MOTION－CONNECT 信号电缆将空心轴测量系统连接至 611D 功率模块的 X411 接口（见图 3-21），或者通过一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 和一根信号电缆将空心轴测量系统连接至 SINAMICS S120 电动机模块上，其中 SMC 仍通过 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS S120 电动机模块进行通信。

3）1PM6 空心轴电动机外部风扇单元的连接：为使空气冷却式 1PM6 电动机工作时产生的热量迅速远离机床，需要通过接线盒连接一个外部风扇单元（顶部安装轴流风扇或右侧安装径向风扇，气流从电动机轴侧吹向非传动轴侧）以进行强制风冷，并且在风扇电动机的进线电路中需加装一个与之匹配的全极断路保护开关（动作电流为风扇允许的最大电流）以避免风扇单元异常运行（如通风装置不畅或不运行时接通 1PM6 电动机）。风扇单元的空气流量与 1PM6 电动机的框架尺寸有关，当框架尺寸为 AH100 时需要的空气流量为≥40L/s，当框架尺寸为 AH132 时

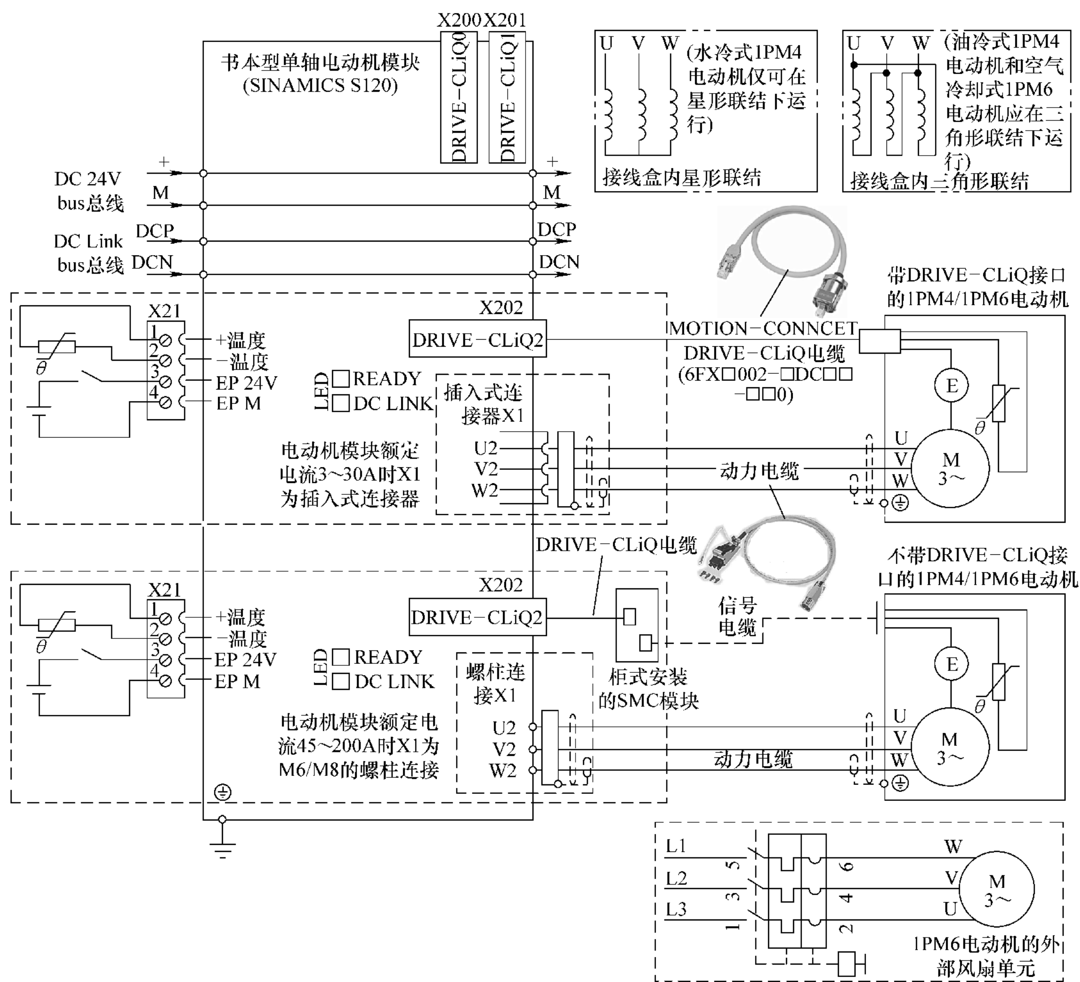
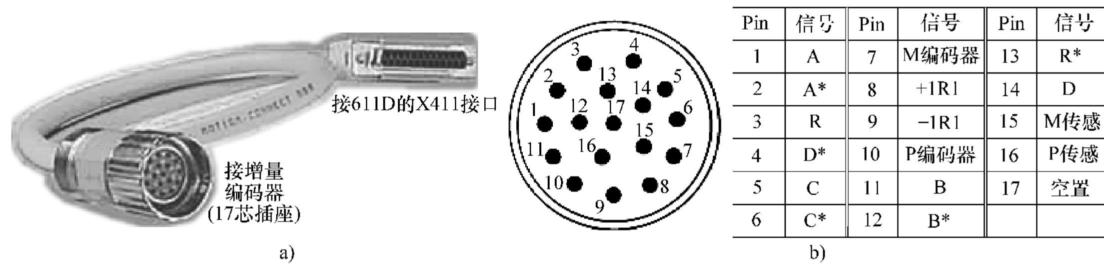


图 3-20 1PM4/1PM6 空心轴电动机与 SINAMICS S120 的应用连接

需要的空气流量为≥105L/s。



Pin	信号	Pin	信号	Pin	信号
1	A	7	M编码器	13	R*
2	A*	8	+1R1	14	D
3	R	9	-1R1	15	M传感
4	D*	10	P编码器	16	P传感
5	C	11	B	17	空置
6	C*	12	B*		

图 3-21 1PM4/1PM6 空心轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的应用连接

a）MOTION - CONNECT 信号电缆 b）增量编码器（sin/cos 1Vpp）17 芯插头的引脚分布

4）1PM4 空心轴电动机水冷系统的连接：具体内容请参见“图 3-13 1PH4 系列异步主轴电动机封闭型水冷系统”。

7. 1FE1 内置水冷同步主轴电动机

1FE1 内置式主轴电动机是西门子公司推出的一款用于直接驱动主轴的水冷型三相交流同步电动机，目前有 6 极/8 极的高转矩系列和 4 极的高转速系列两种型号，前者适用于具有中等转速（恒功率范围 1:2，最高转速 20000r/min，额定功率 4～104kW，额定转矩达 820N · m）的数控车床和数控磨床中，后者适用于具有高转速（恒功率范围 1:4，最高转速 40000r/min，额定功率 6～94kW，额定转矩达 300N · m）的数控铣床和加工中心上。1FE1 主轴电动机主要由内置或外置的层压永磁式转子（带轴套和不带轴套两种型式）和封装绕组式定子套件（带标准防护、完全防护或通用防护型冷却水套）组成，其转子与定子组装后通过圆柱形阶梯压配合（热缩法进行装配，油压法进行拆解）直接安装于机床主轴上而成为一个完整的电动机主轴单元（见图 3-22）。

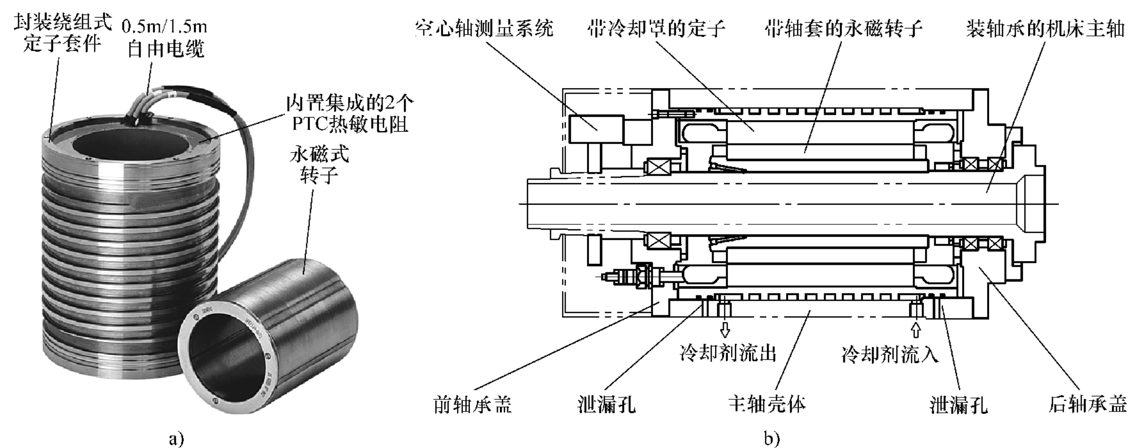


图 3-22　1FE1 内置水冷同步主轴电动机的组成与电动机主轴单元的结构图
a）1FE1 主轴电动机的组成　b）某数控磨床上电动机主轴单元的结构图

由于 1FE1 电动机摒弃了联轴器、带传动和齿轮箱等机械组件并安装在主轴轴承之间而使得机床结构非常紧凑和主轴刚性进一步提高（与相同外径的笼型式异步电动机相比转子内孔直径更大所内装的主轴直径也就随之增加），也使得主轴电动机具有相当高的动态响应性能和极短的加速制动时间（与 1PH2 内置异步主轴电动机相比加速和制动时间节省 50%），进而它更适合于对加工精度、质量、运行平稳性和加工效率要求极为苛刻的应用场合。由于 1FE1 电动机的输出转矩以无间隙方式向机床主轴（无径向力）传递而使得非常低的转速下主轴运动相当平滑精确，进而可以获得极高的工件加工质量和精度；由于 1FE1 电动机采用永磁磁体励磁而使得转子低速时的功率损失显著降低（转子温度低），进而轴承发热和主轴膨胀较小；由于 1FE1 电动机在同功率下运行所需的制冷量比 1PH2 内置异步主轴电动机更低而使得电动机功率密度和可获得转矩更高（在相同的有效体积时所获得的最大转矩是 1PH2 电动机的 1.2 倍之多），进而进一步提高了数控机床的功率密度和成本效益。注意：带轴套的 1FE1 主轴电动机转子在必要时可采用油压法进行拆卸并重新安装，安装后依据 ISO1940－1 标准对转子进行平衡处理（动平衡质量为 G2.5）；而不带轴套的 1FE1 主轴电动机转子不能进行拆卸且无需平衡处理。

1FE1 内置水冷同步主轴电动机既可与 SIMODRIVE 611D 进行连接（见图 3-23），又可与 SIMODRIVE 611U－HR 或 611UE－HR 进行组合，其控制信号可来自于 840D（软件版本 5.3 及以上）、840Di、802D 或 840C（软件版本 6.4 及以上）等 SINUMERIK 系统。

（1）动力电缆的连接（见图 3-23a）　首先通过电动机功率铭牌中订货号 MLFB（见图 3-24）的倒数第 5 个位置上的数字“0”或“1”，来确定 1FE1 同步主轴电动机与 SIMODRIVE

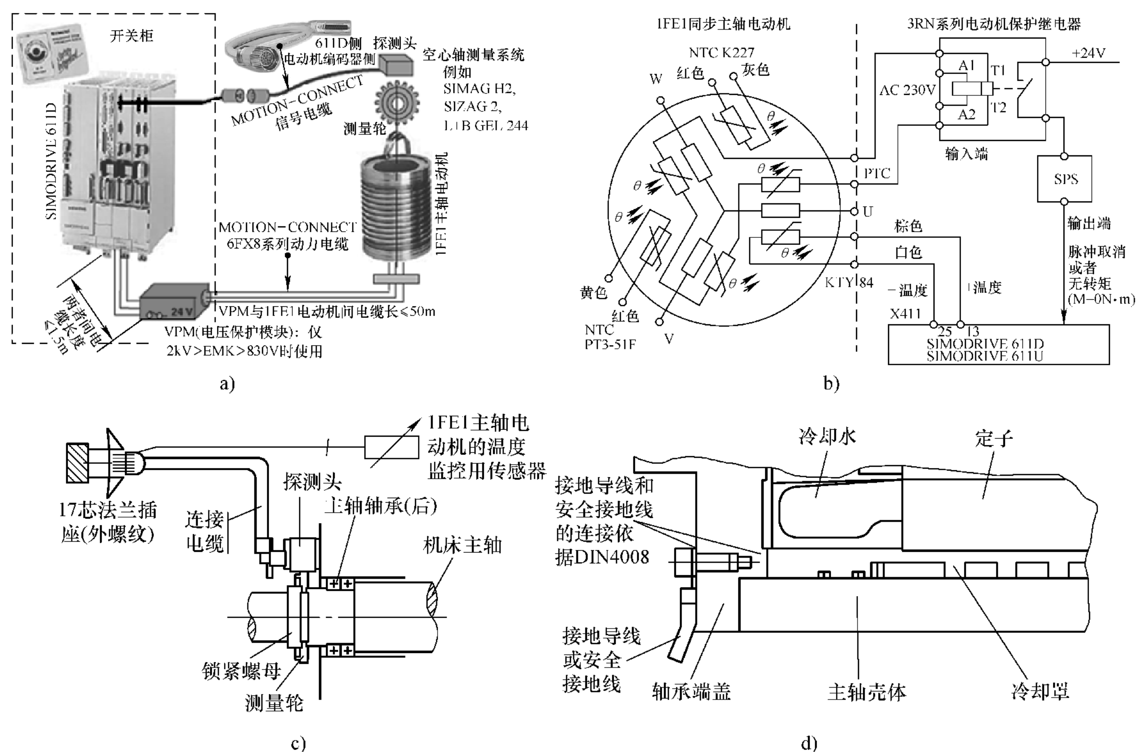


图 3-23 1FE1 同步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的应用连接

a）1FE1 同步主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的实物连接 b）1FE1 同步主轴电动机温度监控的连接
c）1FE1 同步主轴电动机空心轴测量系统的连接 d）1FE1 同步主轴电动机接地的连接

611 驱动系统之间是否连接一个电压保护模块（VPM），以限制故障时驱动系统中直流母线的电压。其中数字“0”为不连接 VPM，此时有效耦合的感应电动机电压 EMK≤830V；数字“1”为连接一个 VPM，此时 2kV > EMK > 830V。其次根据铭牌中 MLFB 给定的电动机类型选择符合要求（即导线的横截面积和外直径）的动力电缆，从 1FE1 同步主轴电动机定子的绕组端部引出并引入到机床主轴箱或预留的端子盒（防护等级至少为 IP54）中，再通过导线连接螺栓由主轴箱或端子盒中遵循不小于最小弯曲半径（3～4 倍的导线外直径）的原则引出。最后自主轴箱接口处开始，通过附属程序块中批量生产的导线（长度不超过 50m 且与 VPM 无关）连接至 SIMODRIVE 611 驱动系统的功率模块（电动机动力连接端子）。

（2）温度传感器的连接（见图 3-23b） 1FE1 同步主轴电动机的封装绕组式定子套件中集成有温度传感器，并通过 3 种保护方式来采集和监控电动机定子绕组的温度。

1）标准防护型：采用 2 个具有极性要求的温度传感器 KTY84（其电阻变化与定子绕组的温度变化成正比，见图 3-25），对处于运转中的 1FE1 电动机进行温度采集和监控以防止其过载至最大电流。KTY84 的信号通过 MOTION－CONNECT 信号电缆传送至 SIMODRIVE 611 驱动系统中功率模块的控制板上（X411 接口的引脚 13 和 25）。在 20℃和 100℃时 KTY84 的电阻值分别约为 580Ω 和 1kΩ，120℃ ±5℃时电阻值约为 1.2kΩ 并进行过热报警响应，155℃ ±5℃时电阻值约为 1.5kΩ 并由功率模块上的控制板来关断伺服电动机的电源。

2）完全防护型（可选）：除采用 2 个具有极性要求的温度传感器 KTY84 对处于运转中的 1FE1 电动机进行温度采集和监控外，还外加 3 个一组的无极性要求的正温度系数（PTC）热敏

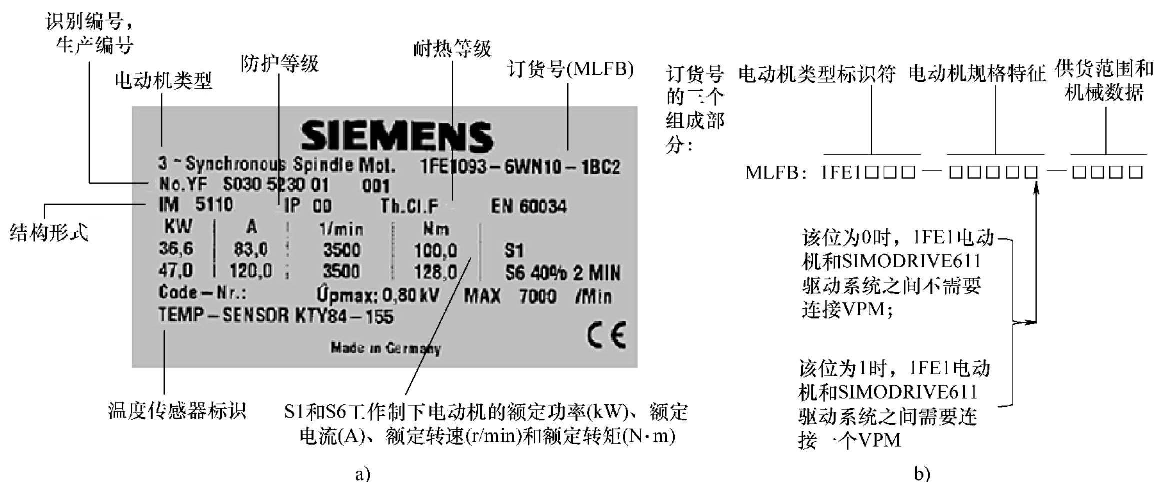


图 3-24　1FE1 同步主轴电动机的功率铭牌及 VPM 的选择
a）1FE1 同步主轴电动机的功率铭牌　b）电压保护模块（VPM）的选择

电阻对静止状态下有负荷或者转速非常低的 1FE1 电动机进行相位温度的采集和监控。3 个一组的 PTC 热敏电阻的运用必须通过一个外部触发装置（如 3RN 系列电动机保护继电器等，导线横截面积 0.14mm^2、外直径 0.9mm）实现。当超过触发装置的反应温度时通过 SPS（存储器可编程序控制系统，即 PLC）控制电动机在 1s 内断开。因此也可监控传感器导线是否断路和短路。不具有线性特性曲线的 PTC 热敏电阻（不适宜测定瞬间温度）在 20℃ 时电阻值不超过 750Ω，在 180℃ 时电阻值将超过 1.71kΩ。维修人员可选择万用表的 ×1kΩ 挡位分两步来测量 PTC 热敏电阻的阻值以判定其好坏：一是常温下测 PTC 热敏电阻两引脚的实际阻值并与标称阻值对比，差值不超过 ±2Ω 为正常；二是利用热源靠近 PTC 热敏电阻加温，测其两引脚阻值是否随温度升高而增大，阻值增大为正常。

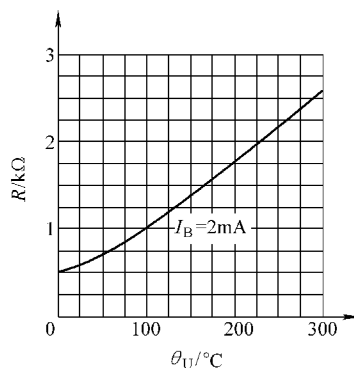


图 3-25　KTY84 的电阻变化取决于温度

3）通用防护型（可选）：如配置的驱动系统不能使用 PTC 热敏电阻时，可用无极性要求的负温度系数（NTC）热敏电阻 K227 和 NTC　PT3－51F 来采集和监控 1FE1 电动机的温度（见图 3-26）。维修人员可选择选万用表的 ×1kΩ 挡位分两步来测量 NTC 热敏电阻的阻值以判定其好坏：一是常温下测 NTC 热敏电阻两引脚的实际阻值并与标称阻值对比，差值不超过 ±2Ω 为正常；二是利用热源靠近 NTC 热敏电阻加温，测其两引脚阻值是否随温度升高而减小，阻值减小为正常。

（3）空心轴测量系统的连接（见图 3-23c）　1FE1 同步主轴电动机与 1PH2 异步主轴电动机类似，需要安装一个具有 *C* 轴操作能力的 SIMAG　H2 空心轴测量系统用来检测电动机的转速和间接位置；而电动机转速超过 25000r/min 时应使用 GEL　244 编码器系统。关于 SIMAG　H2 空心轴测量系统的具体内容，请参见“图 3-15　SIMAG H2 空心轴测量系统及技术参数”。

（4）电压保护模块的连接（见图 3-27）　当 1FE1/2SP1/1PH8 等同步电动机或少量 1FW3/1FW6 转矩电动机在最大转速运行时，电源电压断开或驱动系统的脉冲取消会导致电动机产生超

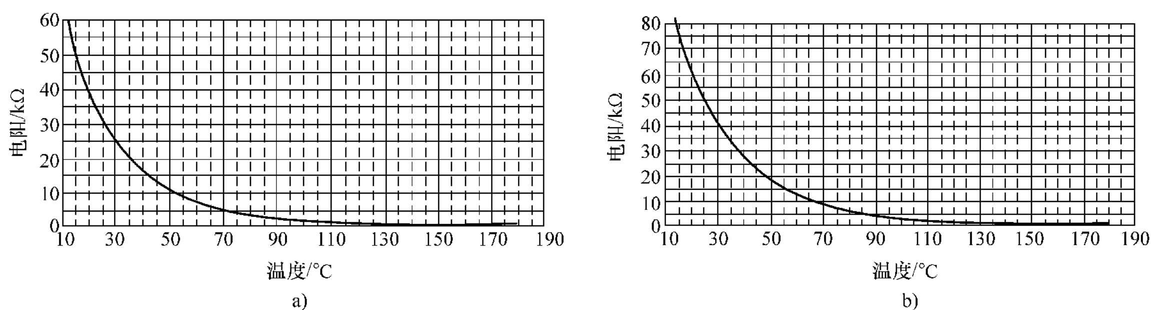


图 3-26 负温度系数热敏电阻 NTC K227 和 NTC PT3－51F 的温度曲线

a）NTC K227 温度曲线 b）NTC PT3－51F 温度曲线

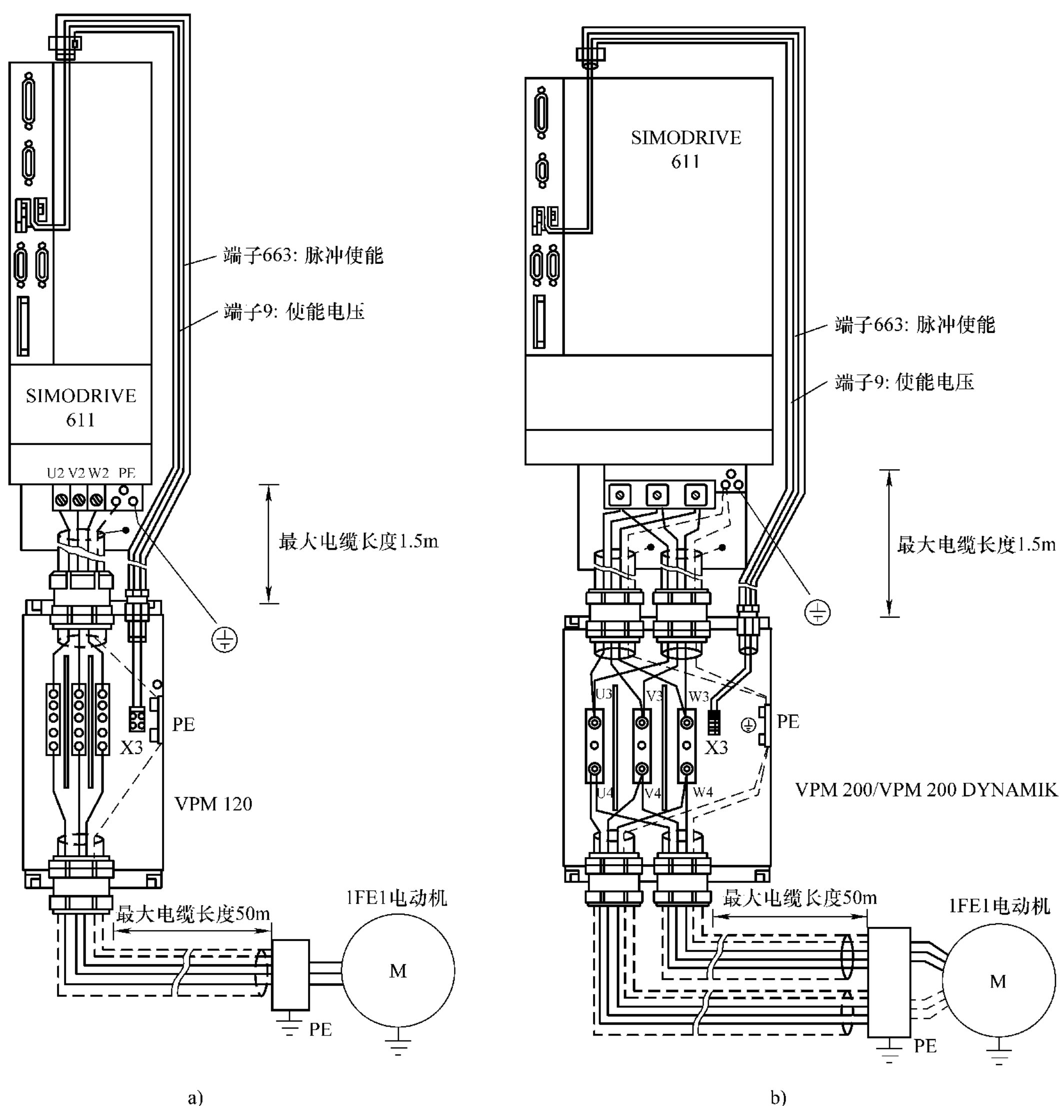


图 3-27 电压保护模块（VPM）与 SIMODRIVE 611D 及 1FE1 电动机的应用连接

a）VPM120 与 611D 和 1FE1 的连接

b）VPM200/VPM200 DYNAMIK 与 611D 和 1FE1 的连接

过 DC830V 的有效耦合感应电压（EMK，即反电动势）。该感应电压自电动机反馈至直流母线中而使直流母线过电压，进而影响驱动系统正常运行。此时可在 1FE1 等电动机与 SIMODRIVE 611D 等驱动系统之间通过 MOTION－CONNECT 6FX8 系列动力电缆连接一个触发电压为 DC830V（1±1%）的电压保护模块（VPM 与驱动系统和电动机之间的动力电缆长度分别不超过 1.5m 和 50m），以检测直流母线电压是否过高（>830V）。当 VPM 识别出直流母线电压超过 830V 时将通过电子开关使电动机的 3 根动力电缆短路，进而使电动机的多余能量转化为热能释放掉并使电动机迅速停止，最终起到防止驱动系统中直流母线过电压的作用。注意：EMK≥2kV 时不再使用 VPM 以避免伤害人员。

8. 2SP1 系列电主轴

2SP1 系列电主轴是西门子公司推出的一款由内部集成的高转矩电动机直接驱动（即带套筒的电动机转子与机床主轴心轴合为一体）的紧凑型水冷式刀具主轴，它包含了一根电动机主轴的所有常规元素——如刀具接口、刀具夹紧装置、主轴支承轴承（适合减弱、消除加工作用力）、水冷驱动电动机和主轴箱以及用于分度和换刀监控的传感器。因其高转矩驱动电动机和刀柄构成了一个由主轴轴承支承的机械整体单元且中间环节省略了常规传动元件（如皮带或齿轮），而使得 2SP1 系列电主轴具有更高的刚性和更高的转速及更大的转矩，从而可实现最短加工时间和最佳表面质量的完美结合。目前 2SP1 系列电主轴有直径为 200mm 的 2SP1202 和 2SP1204 以及直径为 250mm 的 2SP1253 和 2SP1255 四种类型（见图 3-28），其中 2SP120 型电主轴特别适用于小转矩、高转速的轻金属加工场合，如配置了 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S120 驱动系统的数控磨床主轴（功率 0.2～103kW，转矩 0.8～840N·m，转速 3000～120000r/min）；而 2SP125 型电主轴主要适用于大转矩的钢件、铸件等加工场合，如配置了 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S120 驱动系统的数控车床主轴（功率 10～120kW，转矩 27～3900N·m，转速 1500～12000r/min）和数控铣床主轴（功率 10～162kW，转矩 5～2160N·m，转速 500～60000r/min）。

2SP1 系列电主轴既可以与 SIMODRIVE 611D 或 611U－HR 驱动系统进行连接，又可以与 SINAMICS S120 驱动器进行组合（见图 3-29）。前者是通过主轴功率模块上的驱动总线接口 X141（连接至 NCU 模块的 X130A 或 CCU 模块的 X130）自 SINUMERIK 840D（软件版本 5.3 及以上）、840Di 或 810D 系统的 NCK 中下载所需的驱动软件（如速度环和电流环的参数及电动机配置信息等），后者是通过主轴电动机模块上的 DRIVE－CLiQ 接口 X200 与 SINUMERIK 828D、840Dsl 或 840Disl 系统控制单元实现快速数据的交换。2SP1 系列电主轴在 SIMODRIVE 611 和 SINAMICS S120 这两种驱动系统中的相关参数见表 3-2。

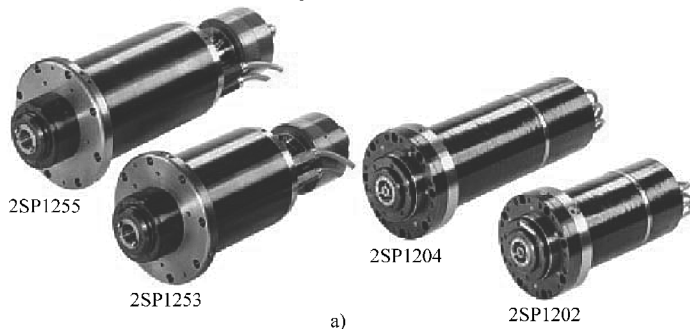


图 3-28　2SP1 系列电主轴的常见类型及其技术参数

a）2SP1 系列电主轴的四种常见类型

序号	功能明细	2SP1202 2SP1204	2SP1253 2SP1255
1	最大转速	15000r/min	10000r/min
2	机　　壳	带法兰盘的套筒结构	
3	工作位置	水平放置或垂直放置	
4	刀柄型号	HSK A63	不对称的SK40、BT40或CAT40
5	刀具夹紧装置(标配)	6bar的气动缸提供松刀压力进行松刀，由碟簧组进行夹刀	
6	刀具锥形面清洁(主轴吹气)	换刀时，清洁空气自主轴轴端穿过拉杆吹向刀具锥型面	
7	主轴冷却水的要求	最大液体静压5bar，流量10 L/min，颗粒物尺寸<100μm，最大25%的防腐剂含量(科莱恩 Antifrogen、Tyfocor 或类似防腐剂)	
8	主轴冷却水的最佳流入温度	25℃(冷却水流入温度会影响S1工作制下的主轴功率)	
9	电动机温度的采集与监控	1) 标准防护型：温度传感器KTY84 2) 完全防护型：KTY 84外加PTC热敏电阻 3)通用防护型：热敏电阻NTC K227和NTC PT3-51F	标准保护型：温度传感器KTY84
10	防护等级	工作区域为IP64，电主轴法兰盘后面为IP53	
11	主轴支承轴承及其润滑	电主轴芯轴由高精度轴承支承，该轴承使用免维护的永久润滑脂进行润滑	
12	电主轴前端轴承的密封要求	密封空气1～1.5m³/h，过滤精度(即颗粒物尺寸)8μm	
13	电动机的编码器系统	带零脉冲的增量式空心轴测量系统，sin/cos1Vpp(256S/R)，17芯法兰座连接	
14	电气连接	动力电缆为1.5m长的1芯或4芯电缆，经MOTION-CONNECT信号电缆连接至SIMODRIVE 611驱动系统或者经由17芯法兰座、SMC20模块和DRIVE-CLiQ信号电缆连接至SINAMICS S120驱动器	
15	模拟量夹紧状态监控(夹刀)	1) 通过S1测量的电压来检测刀具是否已夹紧 2) 检测拉杆在松开位置 3) 已夹紧但无刀具检测	—
16	数字量夹紧状态监控(夹刀)	用S4传感器监控松开气缸的活塞位置	1) 检测刀具是否已夹紧 2) 检测拉杆在松开位置 3) 已夹紧但无刀具检测
17	通入电主轴的各介质的接口(标配)	1) 冷却水口为φ12，φ10的软管接头(出入口) 2) 密封空气口为G1/8径向螺纹接口或φ5mm轴向孔，密封圈6mm×2mm 3) 锥形面清洁空气口为1个G1/4的螺纹接口 4) 松刀空气入口为1个G3/8的螺纹接口 5) 夹刀空气入口为1个G1/8的螺纹接口	1) 冷却水出入口为2个G1/2的螺纹接口 2) 密封空气口为1个G1/8的螺纹接口 3) 锥形面清洁空气口为1个G1/4的螺纹接口 4) 松刀空气入口为1个M16×1.5的管接头 5) 夹刀空气入口为1个G1/8的螺纹接口
18	刀具夹紧装置(可选配置)	80bar的液压缸提供松刀压力进行松刀，由碟簧组进行夹刀；松刀空气入口和夹刀空气入口均为G1/4的螺纹接口	—
19	刀具内部冷却回路(可选配置)	最大液体静压50bar，流量54 L/min，颗粒物尺寸<50μm；冷却润滑剂入口和漏液出口分别为G1/4和G1/8的螺纹接口	
20	刀具外部冷却回路(可选配置)	最大液体静压5bar，过滤精度50μm且带6个可调节喷嘴	—

b)

图 3-28　2SP1 系列电主轴的常见类型及其技术参数（续）

b）2SP1 系列电主轴的技术参数

（1）动力电缆的连接　目前，在 2SP1 系列电主轴中 2SP1253-8HA0□和 2SP1255-8HA0□为异步电主轴（□为数字），其他的均为同步电主轴。由于同步电主轴在最大转速运行时电源电压断开或驱动系统的脉冲取消会导致内置的同步电动机产生超过 DC830V 的有效耦合感应电压（即反电动势），该感应电压自同步电动机反馈至直流母线中而使直流母线过电压，进而影响 611 或 S120 驱动系统的正常运行。因此必须在 2SP1 同步电主轴与 611D 或 S120 驱动系统之间通过 MOTION-CONNECT 6FX8 系列动力电缆连接一个触发电压为 DC830V（1±1%）的电压保护模块（它与驱动系统和电主轴之间的动力电缆长度分别不超过 1.5m 和 50m）以检测直流母线电压是否过高（>830V）。当 VPM 识别出直流母线电压超过 830V 时将通过电子开关使内置同步电动机的 3 根动力电缆短路进而使电动机的多余能量转化为热能释放掉并使电动机迅速停止，最终起到防止驱动系统中直流母线过电压的作用。

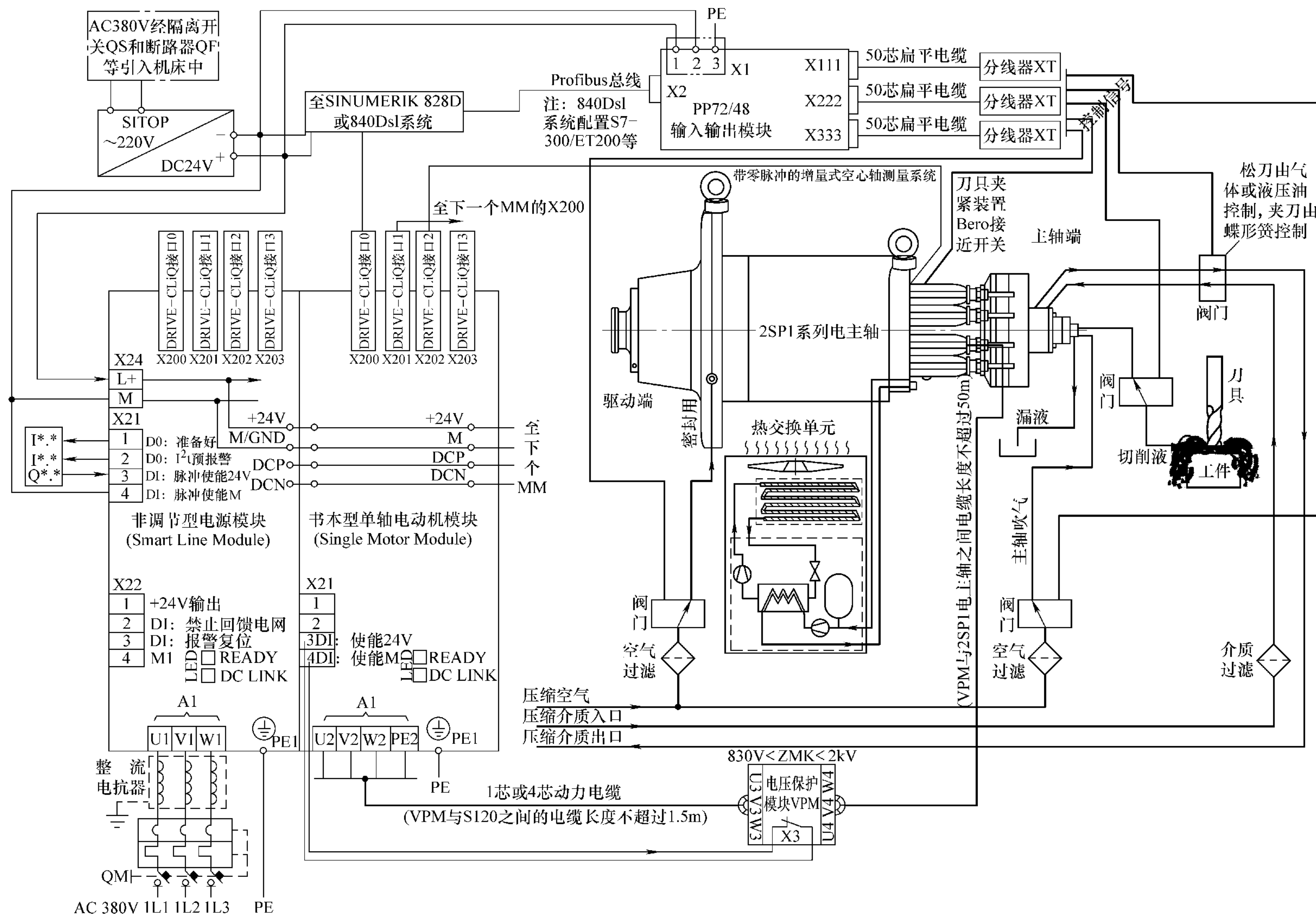


图 3-29　2SP1 系列电主轴与 SINAMICS S120 的应用连接

表 3-2　2SP1 系列电主轴在 SIMODRIVE 611 和 SINAMICS S120 中的相关参数

序号	数据名称	符号	单位	611 中参数号	S120 中参数号
1	电动机类型	—	—	—	p0300
2	电动机代码编号	—	—	MD1102	p0301
3	电动机测量系统编码器线数	—	脉冲/转	MD1005	p0408
4	PE HAS 激活	—	—	MD1015	—
5	转子位置识别电流	—	%	MD1019	—
6	PWM 频率	f_{PWM}	Hz	MD1100	—
7	电动机额定电流	I_N	A	MD1103	p0305
8	电动机额定功率	P_N	kW	—	p0307
9	电动机额定转速	n_N	r/min	MD1400	p0311
10	电动机额定转矩	M_N	N · m	—	p0312
11	电动机最大电流	$I_{最大}$	A	MD1104	p0323
12	极对数	p	—	MD1112	p0314
13	转矩常量	kt	N · m/A	MD1113	p0316
14	电压常量	k_e	V ÷1000 × (1/min)	MD1114	p0317
15	电动机停机电流	I_o	A	MD1118	p0318
16	电动机停机转矩	M_o	N · m	—	p0319
17	电动机短路电流	I_k	A	MD1136	p0320

序号	数据名称	符号	单位	611 中参数号	S120 中参数号
18	电动机最大转速	$n_{最大}$	r/min	MD1146	p0322
19	电动机极限电流	$I_{极限}$	A	MD1122	p0338
20	堵转力矩降低系数	k_{red}	%	MD1145	p0326
21	最佳起动角	α_{opt}	(°)	MD1128	p0327
22	磁阻转矩系数	k_{relu}	mH	MD1149	p0328
23	转子位置识别电流	—	A	—	p0329
24	电动机转动惯量	J	kg · m²	MD1117	p0341
25	电枢电阻	R_a	Ω	MD1115	p0350
26	横向电感	L_q	mH	MD1116	p0356
27	横向电感	L_d	mH	—	—
28	电流控制器自适配功能下限值	—	A	MD1180	p0391
29	电流控制器自适配功能上限值	—	A	MD1181	p0392
30	电流控制器自适配功能下降系数	—	%	MD1182	p0393
31	电流控制器自适配功能启用	—	—	MD1183	—
32	电动机温度报警极限值	—	℃	MD1602	p0604
33	电动机停机温度极限	—	℃	MD1607	p0605
34	弱磁运行启用转速	n_{fs}	r/min	MD1142	p0348

1）根据铭牌中 MLFB 给定的电动机类型选择符合要求（即导线的横截面积和外直径）的动力电缆，从 2SP1 同步电主轴内置电动机定子的绕组端部引出并引入到机床主轴箱或预留的端子盒（防护等级 IP53）中，再通过导线连接螺栓由主轴箱或端子盒中遵循不小于最小弯曲半径（3 ~4 倍的导线外直径）的原则引出。然后自主轴箱接口处开始，通过 MOTION - CONNECT 6FX8 系列动力电缆连接至 VPM 的 U4、V4、W4 端子，再由 VPM 的 U3、V3、W3 端子连接至 611 或 S120 驱动系统的主轴驱动模块（电动机动力连接端子）。

2）连接动力电缆的同时电主轴的旋转方向（面向驱动端时旋转方向即为电主轴的旋转方向）随即被确定。如电主轴的接线端子 U1、V1、W1 分别与 S120 电动机模块上动力接线端子 U2、V2、W2 对应连接时电主轴为顺时针正向旋转，当 U1、V1、W1 分别与 V2、U2、W2 对应连接（即三相中的两相对调）时电主轴为逆时针反向旋转。

3）2SP1 异步电主轴动力电缆（3 个绕组 6 根芯线）的连接有星形联结和三角形联结两种接线方式可供选择，并通过开关装置在主轴之外进行。其中星形联结（最大转矩约为三角形联结的两倍）仅用于低速区高转矩的粗加工等，而三角形联结适合于中速区和高速区内的所有加工。在“图 3-30　2SP1 异步电主轴星形/三角形联结方式的切换控制电路”中，①S120 电动机模块、接触器 KMx、KM1（Y）、KM2（△）和 2SP1 电主轴的异步电动机构成主电路。②机床 PLC 逻辑程序控制 KMx 线圈得电，其主触点和常开触点闭合。③数控系统将读取的加工程序中的主轴转速分为低速和中高速两个区域，并将主轴转速所处的状态信号传送至 PLC 进行逻辑处理。④在低速区时 PLC 逻辑输出 Qx. y = 1→中间继电器线圈 KA2 得电使其常开触点闭合→接触器 KM2 线

圈得电使其主触点闭合且互锁触点切断 KM1 线圈的控制电路→异步主轴电动机在 S120 电动机模块的驱动下以星形联结方式运转。⑤在中高速区时 PLC 逻辑输出 Qx. z = 1→中间继电器线圈 KA1 得电使其常开触点闭合→接触器 KM1 线圈得电使其主触点闭合且互锁触点切断 KM2 线圈的控制电路→异步主轴电动机在 S120 电动机模块的驱动下以三角形联结方式运转。

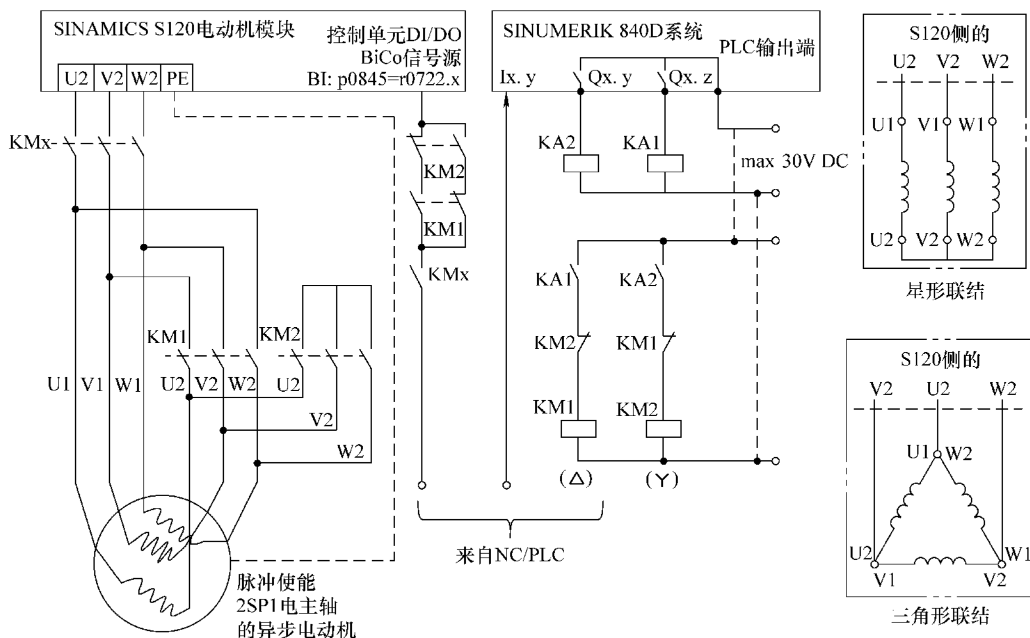


图 3-30　2SP1 异步电主轴星形/三角形联结方式的切换控制电路

（2）温度传感器的连接　2SP1 系列电主轴通过具有极性要求的温度传感器 KTY84，对处于运转中的内置电动机进行温度采集和监控，以防止其过载至最大电流（即标准防护型）。同时，小转矩、高转速的 2SP120 型电主轴还具有完全防护型和通用防护型两种电动机热保护方式，前者采用 3 个一组的无极性要求和不具有线性特性曲线的正温度系数热敏电阻对静止状态下有负荷或转速非常低的内置电动机进行相位温度的采集和监控（必须通过一个如 3RN 系列电动机保护继电器的外部触发装置来实现），后者采用 2 个无极性要求的负温度系数热敏电阻 NTC K227 和 NTC PT3 - 51F 对外部系统上运行的主轴电动机进行温度采集和分析。关于热敏电阻 KTY84 的特性曲线及 PTC 和 NTC 的状态检测方法，请参见第 3. 1. 1 节“7. 1FE1 内置水冷同步主轴电动机中”“温度传感器的连接”。此外，小转矩、高转速的 2SP120 型电主轴还可在加工侧通过法兰盘上未占用的电缆端来选择安装电阻传感器 PT100（见图 3-31），以监控前端主轴轴承的温度及间接估算电主轴的受热伸长变形。

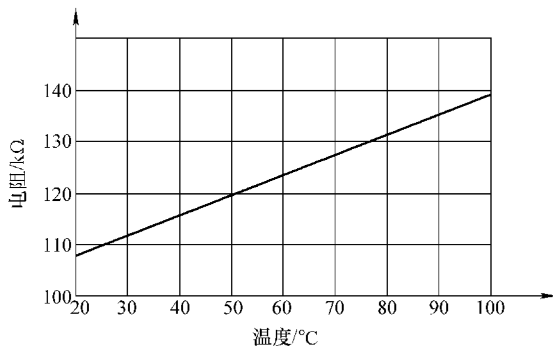
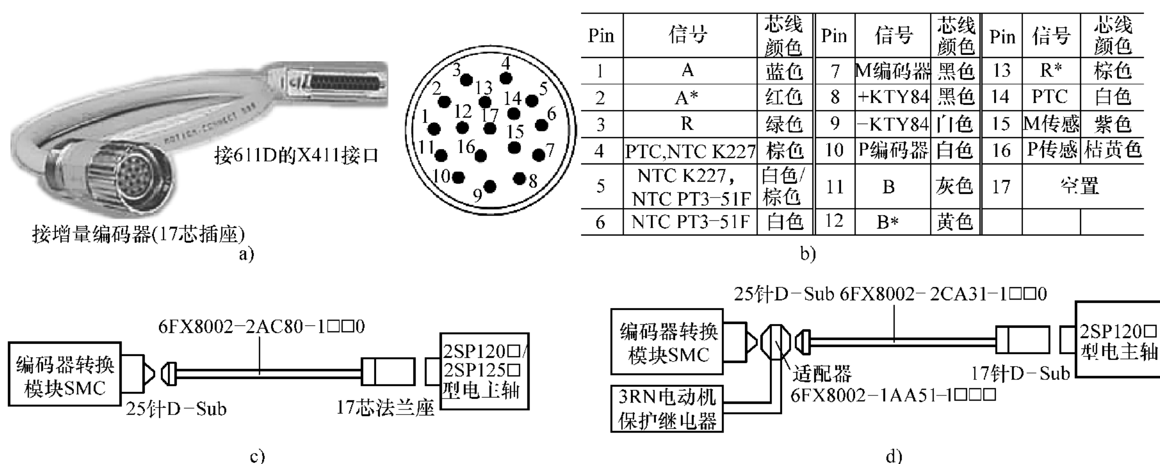


图 3-31　电阻传感器 PT100 的温度曲线

（3）电动机编码器系统的连接（见图 3-32）　2SP1 系列电主轴采用具有抗冲击和耐污染特点的增量式空心轴测量

系统（256S/R），来检测主轴内置电动机的转速和间接位置。该类型编码器有用于精确插补的正弦信号（A，A＊）和余弦信号（B，B＊）以及用于机床主轴角度位置检测的参考信号（R，R＊，即主轴每转动1圈参考信号就发出1个脉冲），并由码盘通过磁头进行扫描。该类型编码器用于611D驱动系统时，需通过一根带17芯法兰座的MOTION－CONNECT信号电缆连接至611D主轴功率模块上的X411接口；用于S120驱动系统时，需通过一块柜式安装的编码器转换模块SMC和一根带17芯法兰座的MOTION－CONNECT信号电缆（它可避免外部系统上附加的温度传感器信号进入闭环控制）连接至S120的电动机模块上，其中SMC仍通过MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ电缆与电动机模块进行通信。



Pin	信号	芯线颜色	Pin	信号	芯线颜色	Pin	信号	芯线颜色
1	A	蓝色	7	M编码器	黑色	13	R*	棕色
2	A*	红色	8	+KTY84	黑色	14	PTC	白色
3	R	绿色	9	−KTY84	白色	15	M传感	紫色
4	PTC,NTC K227	棕色	10	P编码器	白色	16	P传感	桔黄色
5	NTC K227，NTC PT3−51F	白色/棕色	11	B	灰色	17	空置	
6	NTC PT3−51F	白色	12	B*	黄色			

图3-32 2SP1电主轴编码器系统与SIMODRIVE 611和SINAMICS S120的连接电缆

a）SIMODRIVE 611D的MOTION－CONNECT信号电缆 b）17芯法兰座的引脚分布及连接芯线的颜色

c）SINAMICS S120的无温度传感器输出耦合的信号电缆 d）SINAMICS S120的带温度传感器（NTC/PTC）输出耦合的信号电缆 注：□表示数字。

（4）2SP1同步电主轴在SIMODRIVE和SINAMICS上磁极位置（即换向角）的测定　应用于SIMODRIVE或SINAMICS驱动系统中的2SP1同步电主轴，在首次调试或更换电主轴时必须重新测定磁极位置（相对于编码器系统零脉冲的同步角）并将其存储至驱动系统中（换向角偏移），以保证永磁转子的磁场与定子的电感应磁场同步进而使这两个磁场完全重叠。

1）SIMODRIVE（840D系统）中测定换向角：

① 设定P1011.12＝1和P1011.13＝0后执行HW－RESET（冷启动）。

② 设定P1017.0：STARTUP_ ASSISTANCE ＝1并接通脉冲使能和调节器使能。

③ 控制主轴行驶过零标记（如预设较小的$n_{设定}$）以使角度偏移值自动输入P1016：COMMUTATION_ ANGLE_ OFFSET中。

④ 根据显示的故障799，备份FEPROM并执行HW－RESET（冷启动）。

⑤ 当已知偏移角度时（如最终测试报告），应比较已知偏移角度和测定偏移角度之间的差值。如不超过5°，可重新接通主轴并在其行驶过零标记之后记录P1016中的角度偏移值。

⑥ 已知偏移角度和测定偏移角度之间的差值超过5°时，应联系制造商方面的专业人士对其进行修理或直接用同型号的电主轴进行更换。

2）SINAMICS（840Dsl系统）中测定换向角：

① 在Starter软件中选择电动机模块和控制类型“带编码器的控制闭环转速”，并在电动机选择列表中选择“2SP1电主轴”，然后单击［下一步］按键。

② 选择转速编码器为 1Vpp 的空心轴增量传感器并单击［输入数据］按键，磁极位置的检测功能将发出一个粗同步信号。

③ 建议由参数 p0404. 15 = 1 选择精同步信号以避免测量误差和方便复查所测的磁极位置，这是因为机床主轴行驶过编码器内含的零标记后磁极位置会自动按零标记位置（经参数 p0431 电子调节获得）进行调整（即精同步）。

④ 在编码器数据窗口内的粗同步中选择磁极位置识别或者选择零标记（精同步时），其他数据栏自动赋值，并选择“磁极位置检测参数”和确认方法“基于饱和的 1 次谐波 + 2 次谐波”。

⑤ 向导程序结束并将数据输入驱动系统中而完成配置过程（默认配置为正确的磁极位置检测方法且内含电动机专有的检测电流和选项，它们对应的参数分别为 p1980、p0325/p0329 和 p1982）。

⑥ 先通过参数 r0061（电动机正转时的转速实际值）检测主轴电动机正转时的驱动控制方向是否正确，再在专家参数列表中激活 p1990 = 1（即正在执行磁极位置识别）。

⑦ 在 MDA 方式下输入一个较小的主轴转速指令（如 M03S10），当主轴首次行驶过零标记之后便将偏移角度自动输入参数 p0431 中，同时检测程序执行期间 SINUMERIK 系统的显示器上呈现“207971：驱动_ 换向角偏移测定激活”报警。

⑧ 检测结束时参数 p1990 将由 1 自动变为 0，同时对参数 p0431 内的角度偏移值进行合理性检查。

⑨ 当已知偏移角度时（如最终测试报告），应比较已知偏移角度和测定偏移角度之间的差值，如不超过 5°，可重新接通主轴并在其行驶过零标记之后记录 p0431 中的角度偏移值。

⑩ 已知偏移角度和测定偏移角度之间的差值超过 5°时，应联系制造商方面的专业人士对其进行修理或直接用同型号的电主轴进行更换。

3）改变换向角消除机床故障的实例分析：一台配置了 SINUMERIK 840D 系统的五轴数控铣床，安装有瑞士 Fisher 公司生产的电主轴。该机床在空载试运行状态下的主轴功率很大并达到 20% ~35%，现场调试人员多次调整机械负载和电气参数均未能消除，最后通过在 840D 的 HMI 上适当增大换向角的偏移值（参数 P1016）而消除了主轴空载功率很大的现象。

3. 1. 2　电动机的工作制及分类

电动机的工作制表明电动机在不同负载下所允许的循环时间。按电动机可承受负载的情况（包括启动、电制动、空载、断能停转以及这些阶段的持续时间和先后顺序），将其工作制分为 S1 ~ S10 的 10 个类别（见表 3-3），其中应用比较广泛的是 S1 连续工作制、S2 短时工作制、S3 断续周期工作制和 S6 连续周期工作制（见图 3-33）。

表 3-3　电动机工作制的分类及描述

代号	工作制名称	工作制内容描述	其他规定
S1	连续工作制	在恒定负载下的运行时间足以达到热稳定	—
S2	短时工作制	在恒定负载下按给定的时间运行，该时间不足以达到热稳定，随之即断能停转足够时间，使电动机再度冷却到与冷却介质温度之差在 2K 以内	代号 S2 后加工作时限，如 S2 – 10min、S2 – 30min、S2 – 60min 和 S2 – 90min
S3	断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间。该工作制中每一周期的起动电流不会对温升产生显著影响，每一周期 10min	代号 S3 后加负载持续率，如 S3 – 15%、S3 – 25%、S3 – 40% 和 S3 – 60%

（续）

代号	工作制名称	工作制内容描述	其他规定
S4	含起动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间	代号 S4 和 S5 后加负载持续率、电动机转动惯量和负载转动惯量，转动惯量均为归算至电动机轴上的数值
S5	含电制动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段快速电制动时间和一段断能停转时间	
S6	连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，但无断能停转时间	代号 S6 后加负载持续率，如S6－40%
S7	含电制动的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段快速电制动时间，但无断能停转时间	代号 S7 后加电动机转动惯量和负载转动惯量且转动惯量均为归算到电动机轴上的数值
S8	含变速变负载的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段在预定转速下恒定负载运行时间和一段或几段在不同转速下的其他恒定负载的运行时间，但无断能停转时间	—
S9	负载和转速非周期性变化工作制	负载和转速在允许的范围内变化的非周期工作制。这种工作制包括经常过载，其值可远远超过满载	—
S10	离散恒定负载工作制	包括不少于 4 种离散负载值或等效负载的工作制，每一种负载的运行时间应足以使电动机达到热稳定，在一个工作周期中的最小负载值可为零	代号 S10 后标以相应负载及持续时间的标称值

3.1.3 交流异步电动机的工作原理及变频调速

前面介绍的 1PH2 内置水冷型主轴电动机、1PH4 水冷型主轴电动机、1PH7 强制风冷型主轴电动机、多数 1PH8 主轴电动机、1PM4 水冷（或油冷）型/1PM6 空气冷却型空心轴电动机和 1PL6 强制风冷型主轴电动机，均为带有笼型转子的三相交流异步主轴电动机，并与 FANUC 公司的 αi 主轴电动机和 MITSUBISHI 公司的 SJ－4－V＊＊主轴电动机（＊表示数字）类似——针对不同的场合和具体应用而专门设计的。这些主轴电动机在各具自己特色的同时，也存在一些相同点。如为使主轴电动机具有较高的输出功率，一般都采用安装旋转接头以注入冷却介质（水/油等）的液体内冷方式（见图 3-34），或者采用轴向/径向安装的外部风扇单元对其进行强制风冷以使电动机产生的热量迅速远离机床，还有电动机的外形呈多边形而不是圆形等；为使主轴电动机的结构更加紧凑而采用无外壳形式（定子即是电动机的外壳）来尽可能缩小电动机的体积且定子铁芯加工有轴向孔以用于通风等；具有相似的特性曲线（见图 3-35），即基本速度以下为恒转矩区域，基本速度以上为恒功率区域，当速度超过某一定值后，其功率－速度曲线又向下倾斜

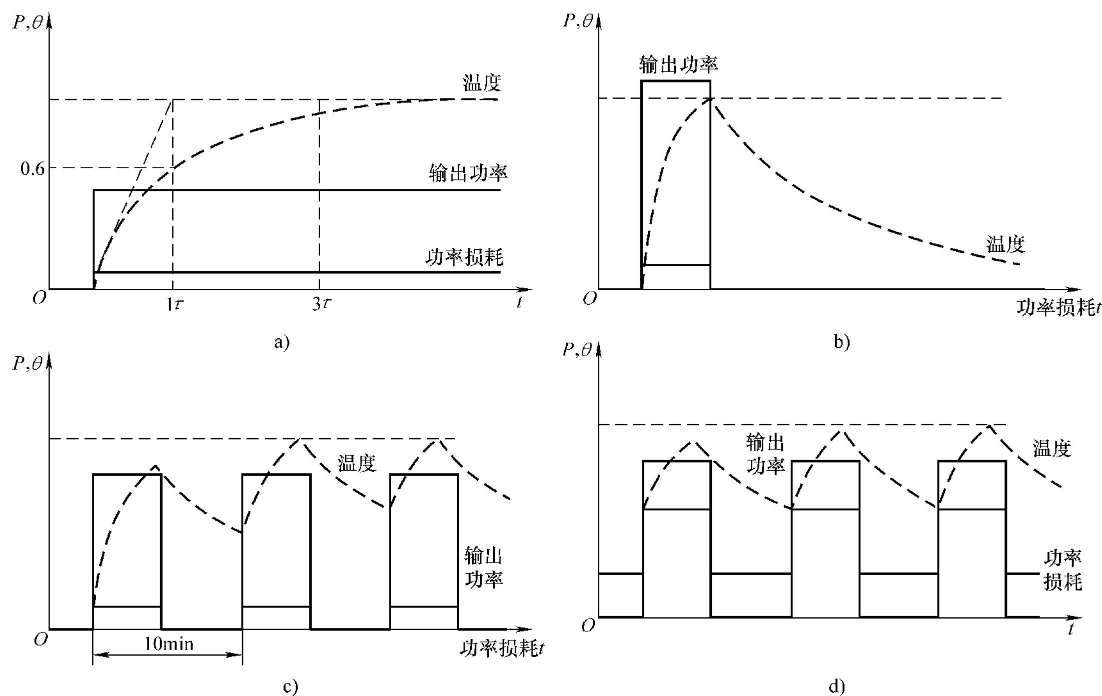


图3-33　常用4种电动机工作制的 $P-t$ 曲线和 $\theta-t$ 曲线

a）S1连续工作制　b）S2短时工作制

c）S3断续周期工作制　d）S6连续周期工作制

注：P 为输出功率，θ 为温度，t 为时间。

而不再保持恒功率；它们不仅具有一定的过载能力（额定值的1.2～1.5倍）且过载时间从几分钟到半个小时不等；还具有多种结构型式（见图3-36）以满足不同安装场合的需求。

（1）三相交流异步电动机的工作原理　如图3-36所示，在总体结构上是由带三相固定绕组的定子和带笼条的转子构成。其中定子绕组由若干线圈（由绝缘铜导线或绝缘铝导线绕制后按一定规律嵌入定子铁心槽内）连接而成，每个绕组即为一相且每个绕组在空间内相差120°；转子铁心上开有许多槽，每个槽内装一根导体（铜条），所有导体两端短接在端环上。当彼此独立的定子绕组通入三相对称交流电后，在笼条转子与电动机定子之间0.2～1.5mm的气隙（气隙太大时电动机运行功率因数降低，气隙太小时电动机装配困难且运行不可靠、高次谐波磁场增强进而使附加损耗增加和启动性能变差）中会产生一个励磁的旋转磁场。当旋转磁场的同步转速 n_0 大于笼条转子（也称铜排转子，100kW以下的电动机多采用铸铝转子）的转速 n 时，转子导体将反方向切割磁力线产生感应电流并与励磁磁场相互作用，从而产生电磁转矩。也就是说，异步电动机中只要转子转速小于同步转速，转子就会受到电磁转矩作用而转动。此外，转子转速比旋转磁场转速低多少主要是由电动

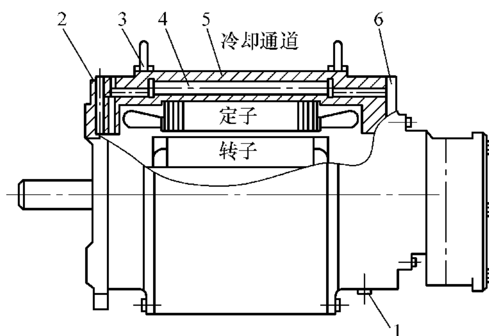


图3-34　液体内冷式主轴电动机结构示意图

1—冷却介质出口　2—冷却介质入口　3—O形圈　4—导流管　5—定子防护罩　6—通道挡板

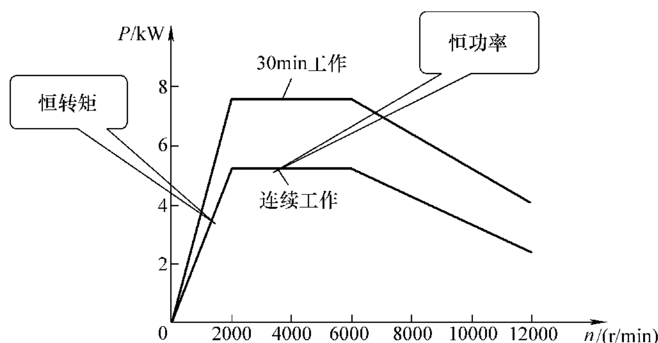


图 3-35 主轴电动机特性曲线的相似性

机输出轴上的机械负载来决定，负载大需要的导体电流就大，转子导体相对于旋转磁场的速度也就随之较大。因电动机转子总是滞后于定子旋转磁场（即 $n < n_0$），故该类型电动机被称为交流异步电动机。同时电动机转子中本无电流，转子导体的电流是切割定子旋转磁场时感应产生的，所以也将其称为感应电动机。通过感应电动机的转速公式 $n = \frac{60f}{p(1-s)}$（p 为电动机的磁极对数，f 为定子绕组的供电频率，转差率 $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ 且 $0 < s < 1$），可知：改变供电频率 f、磁极对数 p 或转差率 s 均可实现电动机的调速控制。注意：交流异步电动机中三相彼此独立的定子绕组共有 6 个出线端（首端 U1、V1、W1 和末端 U2、V2、W2），根据电动机的应用场合可将其定子绕组按星形（Y）联结方式或三角形（△）联结方式进行联结，其中星形联结时电动机的最大转矩约为三角形联结时的 2 倍。

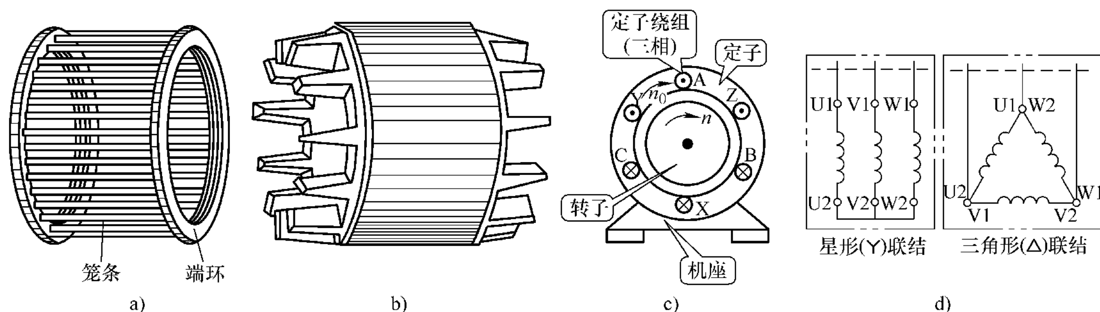


图 3-36 笼型三相交流异步电动机的结构及定子绕组的连接
a）铜排转子 b）铸铝转子 c）定子绕组与笼条转子 d）定子绕组的连接方式

（2）交流异步主轴电动机的变频调速 目前，交流异步主轴电动机的调速均采用微处理器控制的“矢量→标量→矢量”变换，即异步变频调速（见图 3-37）。

1）来自 CNC 的转速给定指令 1 在比较器中与速度反馈信号 2 比较后产生转速误差信号，并经比例积分调节器 3 放大后，作为转矩给定指令电压输出。

2）转矩给定指令经绝对值回路 4 将转矩给定指令电压转化为单极性信号，再经函数发生器 6 和 V/F 转换器 7，将其转换为转矩给定脉冲信号。

3）转矩给定脉冲信号在微处理器 8 中，与四倍频回路 17 输出的速度反馈脉冲进行运算。同时预先存储在微处理器 ROM 中的信息给出幅值和相位信号，分别传送至 DA 振幅器 10 和 DA 强

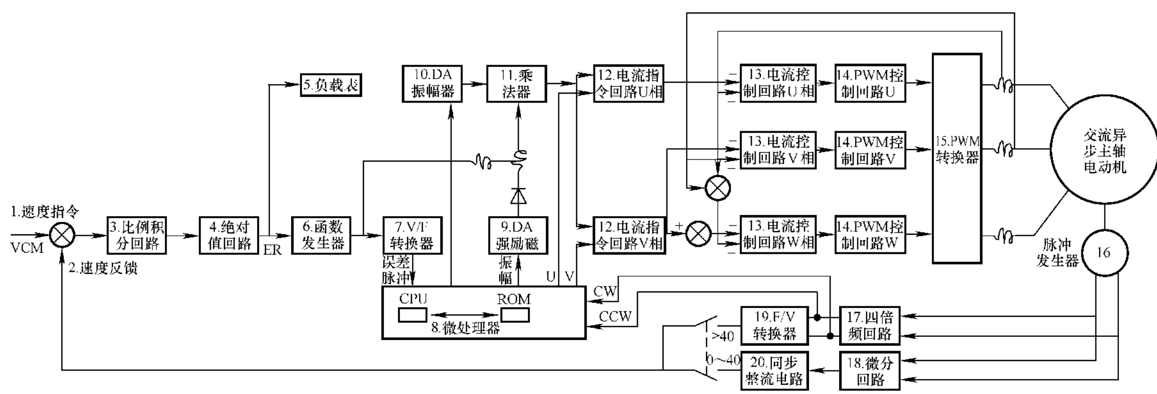


图 3-37　交流异步主轴电动机的变频调速框图

励磁 9。

4）DA 振幅器用于产生与转矩指令相对应的电动机定子电流的幅值，而 DA 励磁强化回路用于控制增加定子电流的幅值。两者的输出经乘法器 11 处理后，形成定子电流的幅值给定。

5）另外，从微处理器 8 输出的 U、V 相位信号 $\sin\theta$ 和 $\sin(\theta-120°)$，分别传送到 U 相和 V 相的电流指令回路 12，并在电流指令回路中与幅值给定相乘后产生 U 相、V 相的电流给定指令。

6）电流给定指令与电流反馈信号比较后的误差，经放大送到 PWM 控制回路 14，变成固定频率的脉宽调制信号，其中 W 相信号由 IU、IV 两信号合成产生。

7）上述脉宽调制信号经过 PWM 转换器 15 的变换，最终控制主轴电动机的三相电流。

8）作为检测器件的脉冲编码器产生每转固定脉冲。该脉冲经四倍频回路 17 进行倍频后，经 F/V 转换器 19 转换为电压信号，提供速度反馈电压。

9）由于低速时 F/V 转换器 19 的线性度较差，所以速度反馈信号一般还需要在微分回路 18 和同步整流电路 20 中作相应的处理。

3.1.4　主轴电动机过热报警的故障分析

数控机床在日常使用过程中，常因主轴切削力过大（如吃刀量大或干涉状态下运行等）、主轴组件传动不良（如主轴轴承润滑不良、无润滑、预紧不当或疲劳损伤以及齿轮传动异常等）、主轴电动机选型不对（俗称小马拉大车）或主轴电动机冷却异常（如外部风扇单元停转或气流方向相反，液体冷却系统不供液或热交换器不工作）等故障造成主轴电动机过热运行进而导致电动机定子绕组短路烧毁，所以非常有必要利用驱动系统或数控装置的监控功能来对主轴电动机的运行进行温度监控。

（1）主轴电动机过热报警的机理分析　如图 3-38 所示，由于 1PH/1PL/1PM 系列主轴电动机在正常情况下的温度上升并不快（如 1PH7103 - ＊NF 异步主轴电动机的热时间常数 Tth = 20min），故它们仅使用 2 个具有极性要求的温度传感器 KTY84（其中 1 个备用，为标准防护型热保护方式）对运转中电动机定子绕组的线圈温度进行采集和监控以防止其过载至最大电流。

1）SIMODRIVE 611 驱动系统：通常，温度传感器 KTY84 的信号通过 MOTION - CONNECT 信号电缆直接传送至 611 驱动系统中功率模块的控制板上（X411 接口的引脚 13 和 25），并在 SI-NUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统的 HMI 上设定机床数据 MD1602：MOTOR_ TEMP_ WARN_ LIMIT ＝120℃（电动机温度报警极限值，范围 0 ~ 200℃），MD1603：MOTOR_ TEMP_ ALARM_ TIME ＝240s（电动机温度报警延时设定，范围 0 ~ 600s），MD1607：MOTOR_ TEMP_ SHUT-

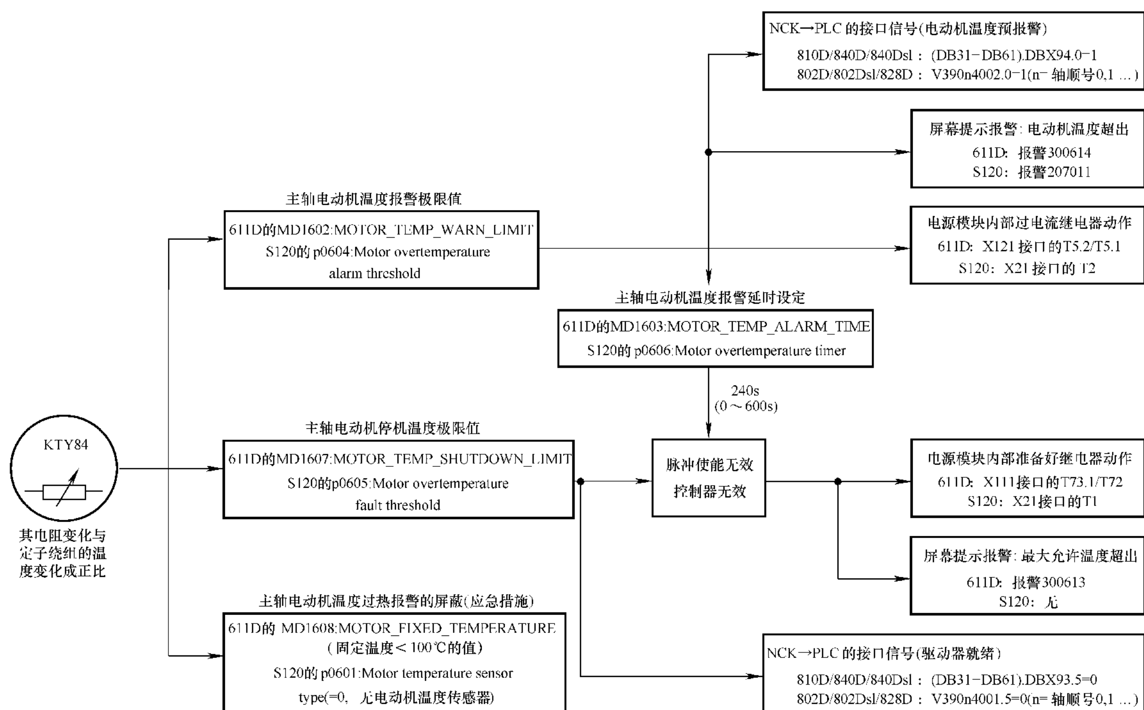


图 3-38　1PH/1PL/1PM 系列主轴电动机过热报警的原理

DOWN_ LIMIT =155℃（电动机停机温度极限值，155～200℃）。

① 当 1PH/1PL/1PM 系列主轴电动机过载运行而导致其定子绕组温度上升至 MD1602 设定的温度 120℃时，对应 KTY84 的电阻值约为 1.2kΩ 左右。同时在 SINUMERIK 系统屏幕上出现如图 3-39 所示的诊断画面，且画面中“Motor temperature warning”项由正常的绿灯变为红灯，同时电动机温度预报警的接口信号（NCK 至 PLC）DB3n. DBX94.0 由正常状态的 0 变为 1。随之电源模块内部的过电流继电器（I^2t）动作，使 X121 接口中 T5.2 和 T5.1（DC24V）间所串联的该继电器常开触点由电源模块正常时的闭合状态转为断开，并经由 T5.2 向 PLC 传送电源模块异常报警信号，且在 SINUMERIK 系统屏幕上显示该报警（DB2. DBX＊＊＊对应的 70＊＊＊＊报警）。同时诊断画面中“Power section in i2t limitation”项由正常的绿灯变为红灯。*注意*：有时定子绕组温度处于 MD1602 设定温度的临界状态，且 S7－300PLC 中未对 DB3n. DBX94.0 编程时，“Motor temperature warning”项会红绿色交替闪烁，同时电源模块内部的过电流继电器（I^2t）也会处于吸合/断开的“闪烁”状态。因此有必要利用 PLC 对电源模块内过流继电器的 I^2t 信号输出和 NCK 至 PLC 的接口信号 DB3n. DBX94.0 进行监测，一旦电动机过热就应断开驱动使能（用 Set/Reset 方式而不用 = ），并且强制待电动机冷却后方可再次使能驱动。

② 当定子绕组的温度持续上升而高于 MD1602 设定的温度并且超过 MD1603 所设定的报警延时时间 240s 时，SINUMERIK 系统屏幕上将出现“300614：轴%1 驱动%2 电动机温度监控超时”报警（%1＝NC 轴号,%2＝驱动号）。

③ 当定子绕组温度持续上升至 MD1607 设定的温度 155℃时，对应 KTY84 的电阻值约为 1.5kΩ 左右。此时 611 功率模块上的控制板会关断电动机的电源，且 611 驱动系统的脉冲使能和控制器使能失效，NCK 至 PLC 的驱动器就绪信号 DB3n. DBX93.5 将由正常状态的 1 变为 0，同时 SINUMERIK 系统屏幕上出现“300613：轴%1 驱动%2 的最大允许温度超出”的报警。随着电源

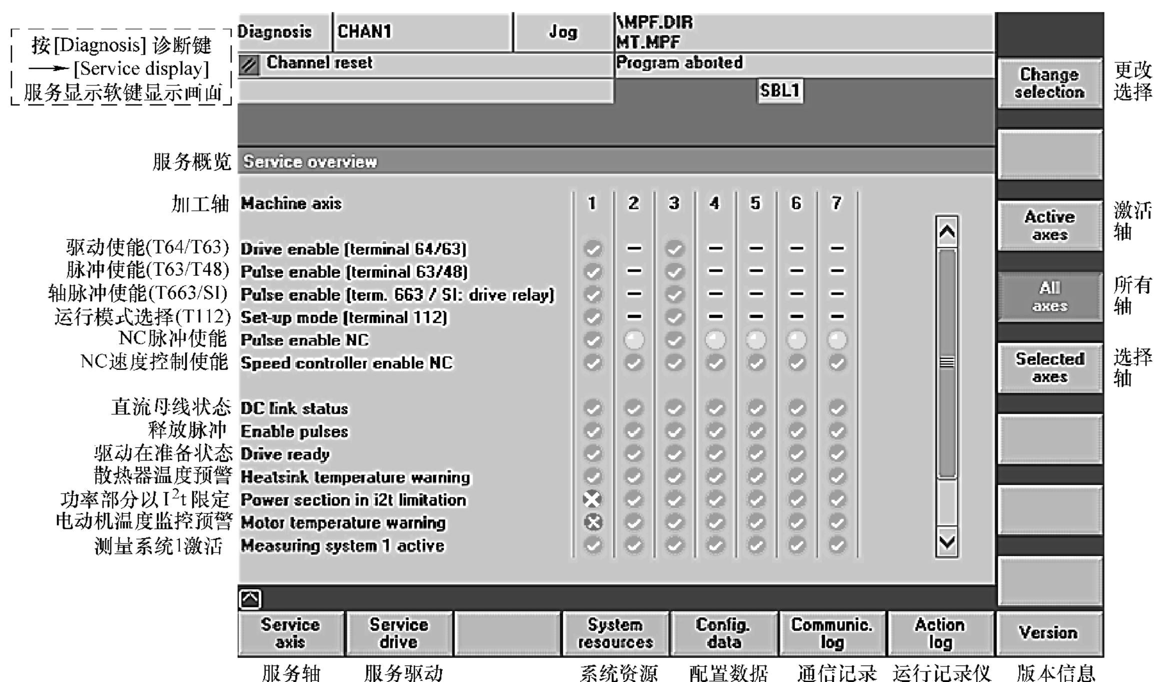


图 3-39 SINUMERIK 840D 系统中关于“服务概览”的诊断画面

模块内部的准备好继电器动作，使 X111 接口中 T73.1（DC24V）和 T72 间所串联的该继电器常开触点由 611 驱动正常时的闭合状态转为断开，并经由 T72 向 PLC 传送驱动系统未就绪的报警信号，且在 SINUMERIK 系统屏幕上显示该报警（DB2. DBX＊＊＊对应的 70＊＊＊＊报警）。

2）SINAMICS S120 书本型驱动器：应用于 SINAMICS 驱动系统中的 1PH/1PL/1PM 系列主轴电动机，其温度传感器 KTY84 的信号不仅可以通过 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆连同电动机编码器信号一起，直接传送至 SINAMICS 电动机模块的接口 DRIVE－CLiQ 2（即 X200）；还可以通过一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 和一根信号电缆，间接传送至 SINAMICS 电动机模块的接口 DRIVE－CLiQ 2（即 X200），其中 SMC 仍通过 MOTION－CONNECT DRIVE－CLiQ 电缆与 SINAMICS 电动机模块进行通信。与 KTY84 相关的参数，需利用 SINAMICS 的标准调试工具 STARTER 进行设置，如 p0604：Motor overtemperature alarm threshold ＝120℃（电动机温度报警极限值，范围 0～200℃），p0606：Motor overtemperature timer ＝240s（电动机温度报警延时设定，范围 0～600s），p0605：Motor overtemperature fault threshold ＝145℃（电动机停机温度极限值，0～200℃）。*注意*：若主轴电动机位于电动机列表（p0301）中时，p0604 和 p0605 的值将被自动给定而无法修改（写保护）。

① 当 1PH/1PL/1PM 系列主轴电动机过载运行而导致其定子绕组温度上升至 p0604 设定的温度 120℃时，对应 KTY84 的电阻值为 1.2kΩ 左右。此时电动机温度预报警的接口信号（NCK 至 PLC）V390n4002.0 由正常状态的 0 变为 1。随之 SLM 内部的过电流继电器（I^2t）动作，使 X21 接口中 T2 所串联的该继电器常开触点由 SLM 正常时的闭合状态转为断开，并经由 PP72/48 模块向 PLC 传送 SLM 超温报警信号，且在 SINUMERIK 802D/802Dsl/828D 系统的屏幕上显示该报警（V1600000＊.＊对应的 7000＊＊报警）。

② 当定子绕组的温度持续上升而高于 p0604 设定的温度，并且超过 p0606 所设定的报警延时时间 240s 时，SINUMERIK 系统的屏幕上将出现“207011：驱动_ 电动机超温”报警。

③ 当定子绕组温度持续上升至 p0605 设定的温度 145℃时，对应 KTY84 的电阻值为 1.4kΩ 左右。此时 SINAMICS 电动机模块关断电动机电源，且 SINAMICS 驱动系统的使能失效，NCK 至 PLC 的驱动器就绪信号 V390n4001.5 将由正常状态的 1 变为 0。随之 SLM 内部的准备好继电器动作，使 X21 接口中 T1 所串联的该继电器常开触点由 SINAMICS 驱动正常时的闭合状态转为断开，并经由 PP72/48 模块向 PLC 传送驱动系统未就绪的报警信号，且在 SINUMERIK 系统屏幕上显示该报警（V1600000 *. * 对应的 7000 * * 报警）。

3）标准防护型（KTY84）之外的电动机热保护方式：与 1PH/1PL/1PM 系列异步主轴电动机相比，用于直接驱动的 1FE1/1FN3/1FW6 等系列电动机（1FN3 为直线电动机，1FW6 为力矩电动机）和 2SP1 系列电主轴在特定情况（如静止状态下负荷过载或者输出最大转矩超过 4s）下的热时间常数都比较短（如电动机 1FE1042－6WN10 和 1FN3100－1NC00－0BA1 及 1FW6090－* * B05－* * * * 的热时间常数分别为 60s、180s 和 60s）而使电动机温度上升很快，仅采用标准防护型（KTY84）的热保护方式将不能保证触发监控报警而保护电动机。因此除使用 KTY84 温度传感器之外，该类型电动机还使用无极性要求的正温度系数热敏电阻进行电动机相位温度的采集和监控。然后通过一个外部触发装置（如 3RN 系列电动机保护继电器等）对 PTC 的电阻值进行监控，并以开关信号形式（继电器输出）输入 PLC 中，一旦电动机过热则由 PLC 在 1s 内切断驱动使能。

（2）PF61－S3000 成形数控磨床主轴电动机过热报警的实例分析　配置了 SINUMERIK 840D 系统和 SIMODRIVE 611D 驱动系统的 PF61－S3000 成形数控磨床，在运行过程中出现“300614：轴 MSE1 伺服 4 电动机温度监控超时”、“600403：DB2.DBX150.3 外圆磨削主轴电动机温度过高”和“25201：轴 MSE1 伺服故障”的报警从而导致机床无法正常运转（见图 3-40）。

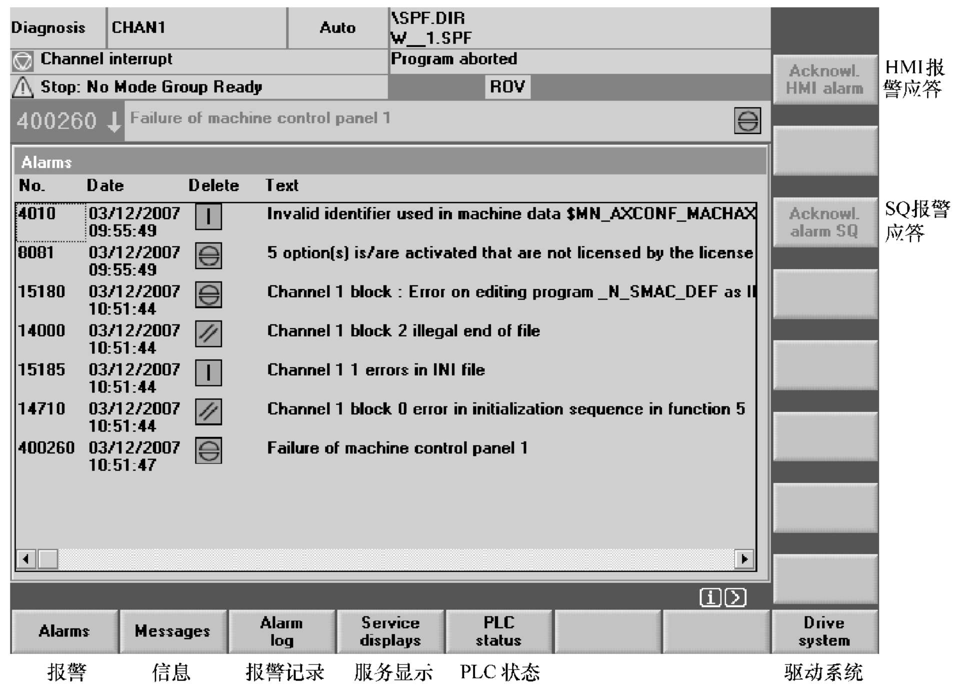


图 3-40　SINUMERIK 840D 系统中关于“报警”的诊断画面（示例）

1）磨削主轴的控制（见图 3-41，按［Diagnosis］诊断键即可显示该画面）：该磨床磨削主轴是在 611D 主轴驱动模块控制 1PH4 水冷型异步电动机旋转的前提下通过带传动耦合而实现运

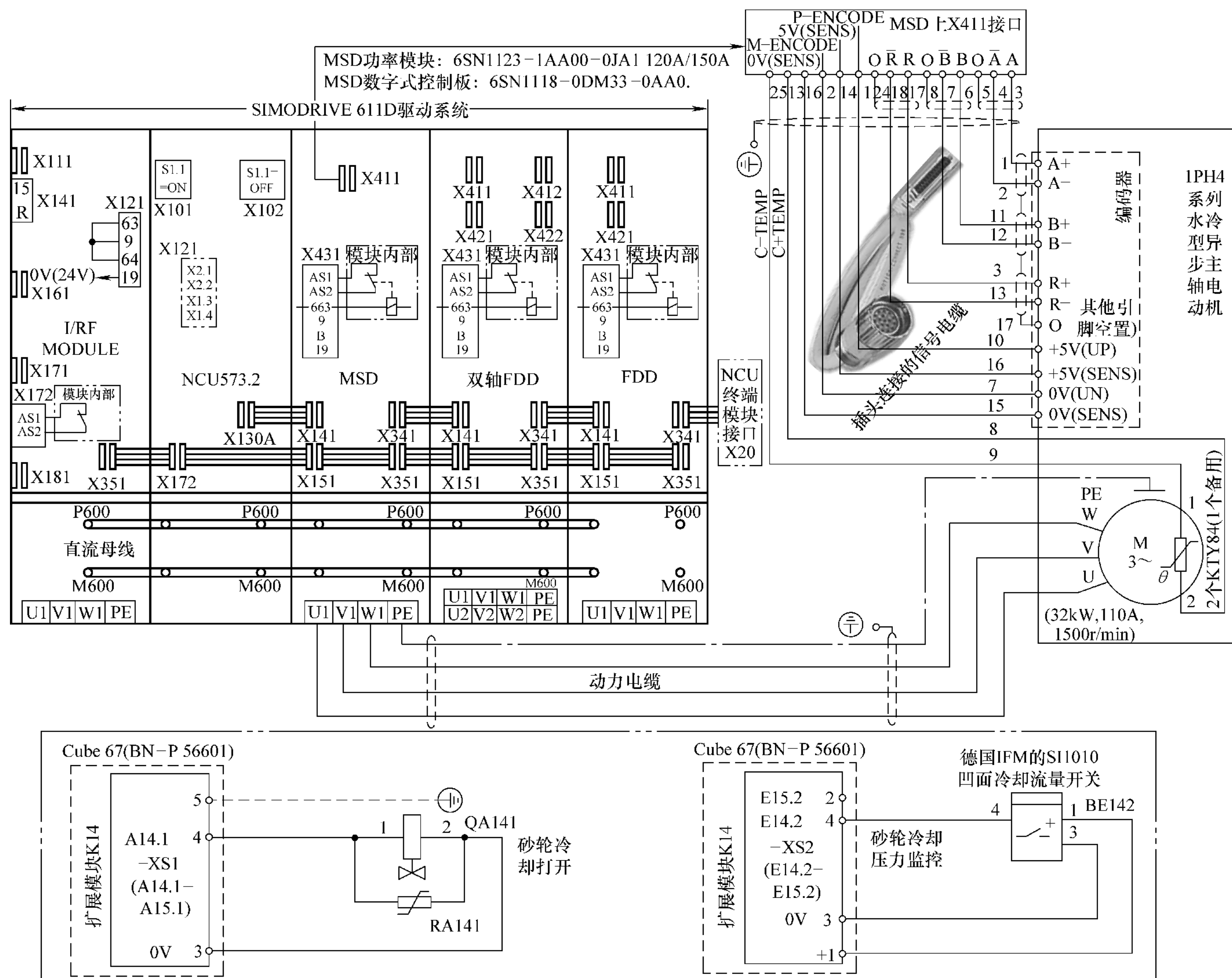


图 3-41　PF61-S3000 成形数控磨床砂轮主轴电动机与 SIMODRIVE 611D 的连接

转的，其运转速度和工作位置是通过 1PH4 电动机的编码器模块间接获取的。1PH4 电动机编码器信号与电动机温度传感器信号通过一根带 17 芯法兰插座的 MOTION - CONNECT 信号电缆直接传送至主轴驱动模块的控制板上（X411 接口）。

2）报警原因分析：25201 报警是由 300614 报警触发而产生的 1 级严重故障信号，600403 报警是因主轴驱动模块故障而引发的 PLC 报警。300614 报警提示 1PH4 主轴电动机定子绕组的温度不但超出了 MD1602 所设定的温度而且超出了 MD1603 所设定的报警延时时间。

① 钳形电流表或万用表检测 1PH4 主轴电动机运行时的三相电流处于平衡状态，动力电缆手感无发热现象。

② 在 SINUMERIK 840D 系统的 HMI 上查阅机床数据 MD1602 = 120℃和 MD1603 = 240s，均在正常范围内。

③ 由于 KTY84 的信号经由 MOTION - CONNECT 信号电缆连接至 611D 主轴驱动模块上 X411 接口的引脚 13 和 25，因此可在驱动系统侧用万用表测量 X411 接口中引脚 13 和 25 间的电阻值来判定 KTY84 的状态。测量 KTY84 的电阻值为 7kΩ，该值远远大于其常温（20℃）下的正常电阻值 580Ω。由此可判定温度传感器 KTY84 已损坏而不能反映 1PH4 主轴电动机的正常温度并最终导致 300614 报警出现。

3）解决措施：故障原因虽已查明，但处理起来还是非常棘手的——因 KTY84 是封闭在电动机内部的且较难更换。为不耽误生产可采取两种方法暂时进行应急处理：一是先在 MOTION - CONNECT 信号电缆中断开温度传感器 KTY84，再在 X411 接口的引脚 13 和 25 上并联一只 1kΩ 的多圈电位器，待机床起动后缓慢调整电位器阻值为 580Ω 左右（611A 驱动系统时约为 250Ω）即可消除报警；二是将 611D 的机床数据 MD1608（611A 驱动系统时为 MD64）设定为一个小于 100 的值来消除报警。通过应急处理机床虽然可以继续工作，但是存在一定的隐患，那就是电动机真正超温时不能进行标准热防护，因此应尽快更换机床主轴电动机或请专业维修厂家来更换损坏的温度传感器。

3.1.5 交流异步主轴电动机常见故障与排除

1PH/1PL/1PM 系列交流异步主轴电动机在使用过程中，常因功率消耗增加、温度升高或振动加剧、噪声或气味异常、监视装置跳闸及机械负载增加等偏离其正常运行特性的状况而导致短路或断路、运行发热等电气故障的发生，进而影响机床主轴的正常运行，无法保证产品的加工质量，甚至造成重大财产损失或人员伤亡。因此，维修人员有必要了解和掌握交流异步主轴电动机的常见故障和处理方法（见表 3-4），以快速排除故障使数控机床恢复运转。

表 3-4 1PH/1PL/1PM 系列交流异步主轴电动机的常见故障及处理方法

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	电动机无法起动	1）过载	减少电动机负载
		2）电源电缆的一相断路	检查驱动系统和供电电缆
		3）定子绕组连接不正确	检查定子绕组的连接
2	电动机加速缓慢	1）过载	减少电动机负载
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆
		3）定子绕组连接不正确	检查定子绕组的连接
		4）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理

（续）

序号	故障现象	故 障 原 因	处 理 方 法
3	起动时发出隆隆声	1）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆
		2）定子绕组连接不正确	检查定子绕组的连接
		3）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
4	运行时发出隆隆声	1）过载	减少电动机负载
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆
		3）定子绕组连接不正确	检查定子绕组的连接
		4）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
5	空运行时出现过热	1）驱动模块输出的电压过高或频率过低	检查驱动系统的设置，执行自动电动机识别
		2）堆积物阻碍了电动机热量的扩散	清除驱动表面的堆积物使冷却风可自由进入/排出
		3）空气冷却式电动机的外部风扇单元不工作或异物堵住了冷却风的入口/出口	检查外部风扇单元的电力供应使其正常；或更换损坏的外部风扇单元；或清除阻碍物使冷却风可自由进入/排出
		4）液体冷却式电动机的冷却液流量过小或不供应及冷却液温度过高、热交换装置不工作	调节冷却液流量控制阀以增大冷却液的供应；检查冷却泵电动机是否工作、控制阀是否打开及管路是否被堵塞等；使热交换装置正常工作以控制冷却液温度在20～30℃
6	带负载运行时出现过热	1）过载	减少电动机负载
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆
		3）堆积物阻碍了电动机热量的扩散	清除驱动表面的堆积物使冷却风可自由进入/排出
		4）空气冷却式电动机的外部风扇单元不工作或异物堵住了冷却风的入口/出口	检查外部风扇单元的电力供应使其正常；或更换损坏的外部风扇单元；或清除阻碍物使冷却风可自由进入/排出
		5）液体冷却式电动机的冷却液流量过小或不供应	调节冷却液流量控制阀以增大冷却液的供应；检查冷却泵电动机是否工作、控制阀是否打开及管路是否被堵塞等
7	单个绕组部分出现过热	1）定子绕组连接不正确	检查定子绕组的连接
		2）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
8	运行不平稳	1）电动机动力电缆或编码器信号电缆屏蔽不够充分	检查动力电缆/信号电缆的屏蔽层和接地
		2）驱动模块的伺服增益过大致运行时抖动	适当减小伺服增益
9	刺耳的摩擦声，运行噪声	1）主轴组件（含电动机）有磨损	更换被磨损的零部件
		2）电动机内存在异物	需请专业维修人员拆卸电动机将异物取出

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
10	径向振动	1）转子不平衡	拆卸转子并重新调整平衡
		2）转子位置不正确或电动机芯轴弯曲	调整转子位置或更换弯曲的电动机芯轴
		3）校准不够	校准电动机单元，检查联轴器
		4）与电动机相连的设备不平衡或振动	重新连接联轴器、紧固电动机底座或齿轮传动装置等，校准主轴的径向跳动量，合理调整传动装置的间隙量
11	轴向振动	1）校准不够	校准电动机单元，检查联轴器
		2）与电动机相连的设备不平衡或振动	重新连接联轴器、紧固电动机底座或齿轮传动装置等，校准主轴的轴向窜动量，合理调整传动装置的间隙量

3.2 进给轴电动机及故障

数控机床的进给轴是 CNC 系统（如 SINUMERIK、FANUC 或 MITSUIBISHI 等）与进给运动执行机构的桥梁，它以机床移动部件的位置、速度和加速度为控制量，经 CNC 系统的插补运算和信号变换以及电压和功率的放大而将伺服电动机的旋转运动转化为工作台直线坐标轴（*X/Y/Z*）的进给运动和回转坐标轴（*A/B/C*）的定位运动等，并最终在 CNC 系统的控制下配合主轴刀具或工件的旋转运动完成工件切削。进给轴与主轴一样也属于机床的重要部件之一。现代数控机床对进给轴传动具有较高的要求：一是调速范围足够宽（一般 0～24m/min）且速度均匀稳定，0.1r/min 的低速或更低速时不爬行以及零速时伺服电动机处于电磁锁住状态等；二是进给轴的过载能力要强（30min 内过载 1.5 倍仍可继续加工甚至极短时间内过载 4～6 倍而不损坏），能够满足低速大转矩的强力切削要求；三是进给传动可在 CNC 控制下实时正反向可逆运行，且方向变化时无反向间隙和运动能量的损失；四是进给轴具有较高的定位精度（中档数控机床为 0.01mm～0.001mm，高档数控机床为 0.1μm 甚至达到纳米级精度）和良好的快速响应特性（即指令信号的跟踪响应速度快，不仅可以保证进给系统在足够大的加减速度下缩短其过渡时间和减小轮廓过度误差，还可以确保伺服电动机在尽可能短的时间内以最小的启动电压从静止启动直至达到额定转速）以获得良好的轮廓切削精度。

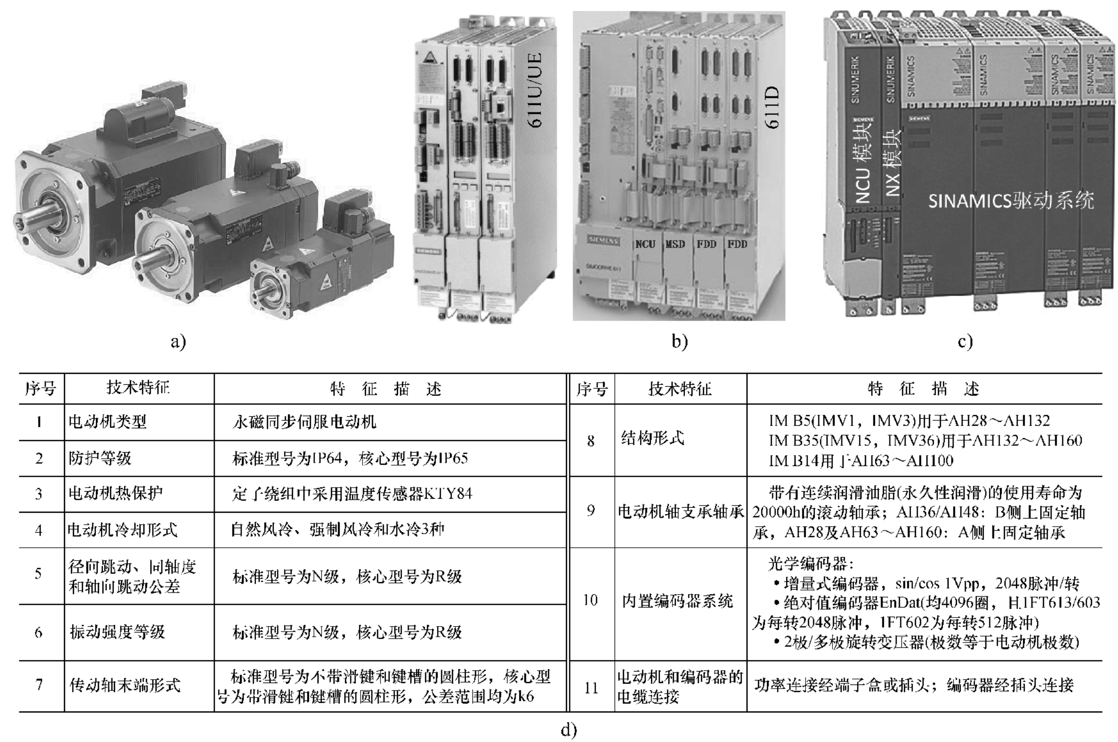
鉴于此，除在进给传动的机械结构上采取必要的措施外（如采取缩短进给传动链、合理选择滚珠丝杠螺母副、对滚珠丝杠副和支承部件适当预紧等方式来提高进给传动的刚度，尽量消除联轴器和齿轮齿条副等进给传动部件的间隙，并且 CNC 系统可根据位置反馈进行间隙的自动补偿来提高机床的位移精度等），还应选择具有高动态性能、更宽功率输出范围（如 0.2～630kW）和精确位置控制精度的进给轴电动机。

3.2.1 常用进给轴电动机的应用连接

为满足现代数控机床对超高速切削、超精密加工和低速大转矩切削场合的进给轴传动技术日益发展的需要，西门子公司不仅开发出 1FT5（适用于已经停产的模拟型 611A 驱动系统中）、1FT6、1FT7、1FK6（已停产）、1FK7 和 1PH8 系列的永磁同步电动机，还推出了 1FN1、1FN3、1FN6 系列直线电动机和 1FW3、1FW6 系列转矩电动机。用户可根据实际进行选用，并与 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S120 驱动系统相配合使用。

1．1FT6 系列永磁同步伺服电动机

1FT6 系列电动机是西门子公司在 20 世纪 90 年代初推出的一款安装有内装型编码器的结构紧凑型三相交流永磁同步伺服电动机，因其具有平均转矩脉动小（标准值 1%）、短时（250ms）过载能力强、径向跳动精度高（正弦形式电流注入）、电动机轴（传动侧）末端横向承受力大、防护等级高（IP64/IP65，功率部件和信号部件可在污染严重的环境中使用）和冷却性能好（自然风冷、强制风冷和水冷 3 种冷却形式）以及特性曲线可接近恒转矩的卓越性能，而被广泛应用于配置了 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S120 驱动系统且对动态性能（要求缩短非生产性辅助时间）和精度具有很高要求的高性能数控机床上（见图 3-42），如重型汽车和工程机械行业进行直齿轮、螺旋齿轮（斜齿轮）和锥度齿轮及鼓形齿轮加工的 YKX3132M 型 4 轴数控高效滚齿机，铁路货车行业进行 RE_{2B} 型车轴轴颈和防尘板座及两圆弧根部一次性成形磨削加工的 PF61 – S3000 成形数控磨床。



a)　　b)　　c)

序号	技术特征	特 征 描 述
1	电动机类型	永磁同步伺服电动机
2	防护等级	标准型号为IP64，核心型号为IP65
3	电动机热保护	定子绕组中采用温度传感器KTY84
4	电动机冷却形式	自然风冷、强制风冷和水冷3种
5	径向跳动、同轴度和轴向跳动公差	标准型号为N级，核心型号为R级
6	振动强度等级	标准型号为N级，核心型号为R级
7	传动轴末端形式	标准型号为不带滑键和键槽的圆柱形，核心型号为带滑键和键槽的圆柱形，公差范围均为k6
8	结构形式	IM B5(IMV1，IMV3)用于AH28～AH132 IM B35(IMV15，IMV36)用于AH132～AH160 IM B14用于AH63～AH100
9	电动机轴支承轴承	带有连续润滑油脂(永久性润滑)的使用寿命为20000h的滚动轴承；AH36/AH48：B侧上固定轴承，AH28及AH63～AH160：A侧上固定轴承
10	内置编码器系统	光学编码器： •增量式编码器，sin/cos 1Vpp，2048脉冲/转 •绝对值编码器EnDat(均4096圈，且1FT613/603为每转2048脉冲，1FT602为每转512脉冲) •2极/多极旋转变压器(极数等于电动机极数)
11	电动机和编码器的电缆连接	功率连接经端子盒或插头；编码器经插头连接

d)

图 3-42　适用于 SIMODIVE 611 和 SINAMICS 驱动系统的 1FT6 系列永磁同步伺服电动机及技术参数

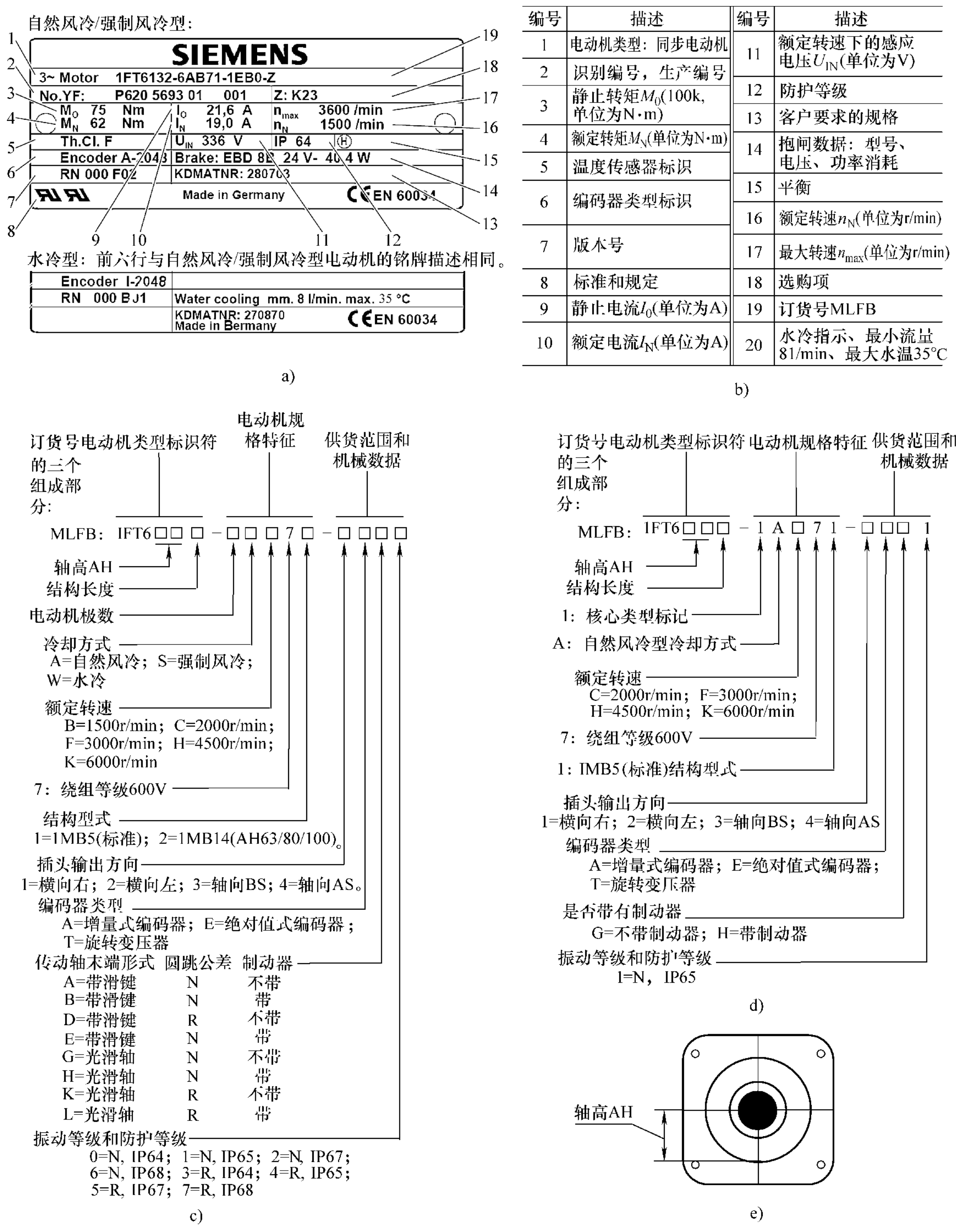
a）1FT6 系列永磁同步伺服电动机　b）SIMODRIVE 611 驱动系统

c）SINAMICS S 系列驱动系统　d）1FT6 系列永磁同步伺服电动机的技术参数

（1）1FT6 系列永磁同步伺服电动机的功率铭牌及数据说明　如图 3-43 所示，通常在电动机的功率铭牌上标注了该电动机的额定参数、使用极限和相关认证等信息，设计人员和维修人员应了解和读懂功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机（如更改相关参数）。

（2）1FT6 系列永磁同步伺服电动机与 SIMODRIVE 611 和 SINAMICS S120 的应用连接

1）动力电缆的连接：1FT6 系列同步电动机既可用于配置了 SIMODRIVE 611D/611U – HR 驱动系统的数控机床上，也可用于采用 SINAMICS S120 驱动器作为完整数字执行式调节装置的数控机床上。连接时，符合要求（即导线的横截面积和外直径）的 MOTION – CONNECT 6FX5/8 系列动力电缆一端接至 611 功率模块或 S120 电动机模块下方的电压输出端子 U2、V2、W2，另一端既可通过功率插头也可经由端子盒接至 1FT6 系列同步电动机（见图 3-44）。



编号	描述	编号	描述
1	电动机类型：同步电动机	11	额定转速下的感应电压U_{IN}(单位为V)
2	识别编号，生产编号	12	防护等级
3	静止转矩M_0(100k，单位为N·m)	13	客户要求的规格
4	额定转矩M_N(单位为N·m)	14	抱闸数据：型号、电压、功率消耗
5	温度传感器标识	15	平衡
6	编码器类型标识	16	额定转速n_N(单位为r/min)
7	版本号	17	最大转速n_{max}(单位为r/min)
8	标准和规定	18	选购项
9	静止电流I_0(单位为A)	19	订货号MLFB
10	额定电流I_N(单位为A)	20	水冷指示、最小流量8l/min、最大水温35°C

图 3-43 1FT6 系列永磁同步伺服电动机的功率铭牌及数据说明

a）功率铭牌的基本结构 b）功率铭牌的数据说明 c）标准型号电动机功率铭牌中 MLFB 的说明（AH28 ~ AH132）

d）核心类型电动机功率铭牌中 MLFB 的说明 e）轴高 AH 示意图

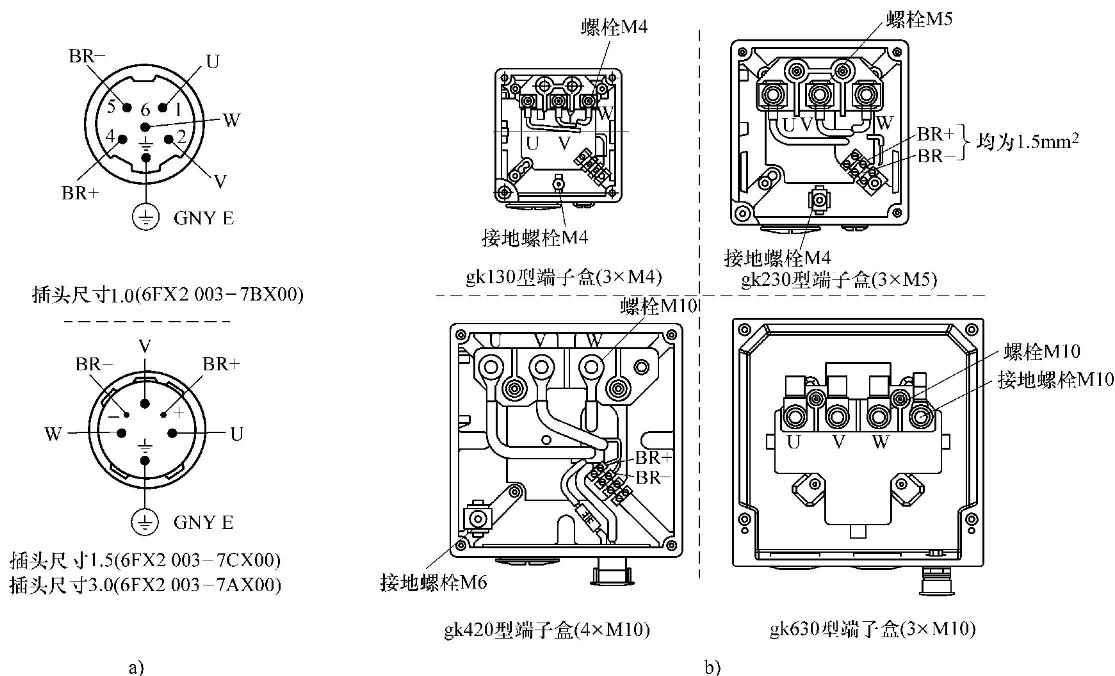


图3-44 1FT6系列永磁同步伺服电动机功率连接的布局
a）电动机侧功率插头连接的接线布局 b）电动机侧端子盒连接的端子布局
注：BR +/BR – 用于连接制动器（其他同）。

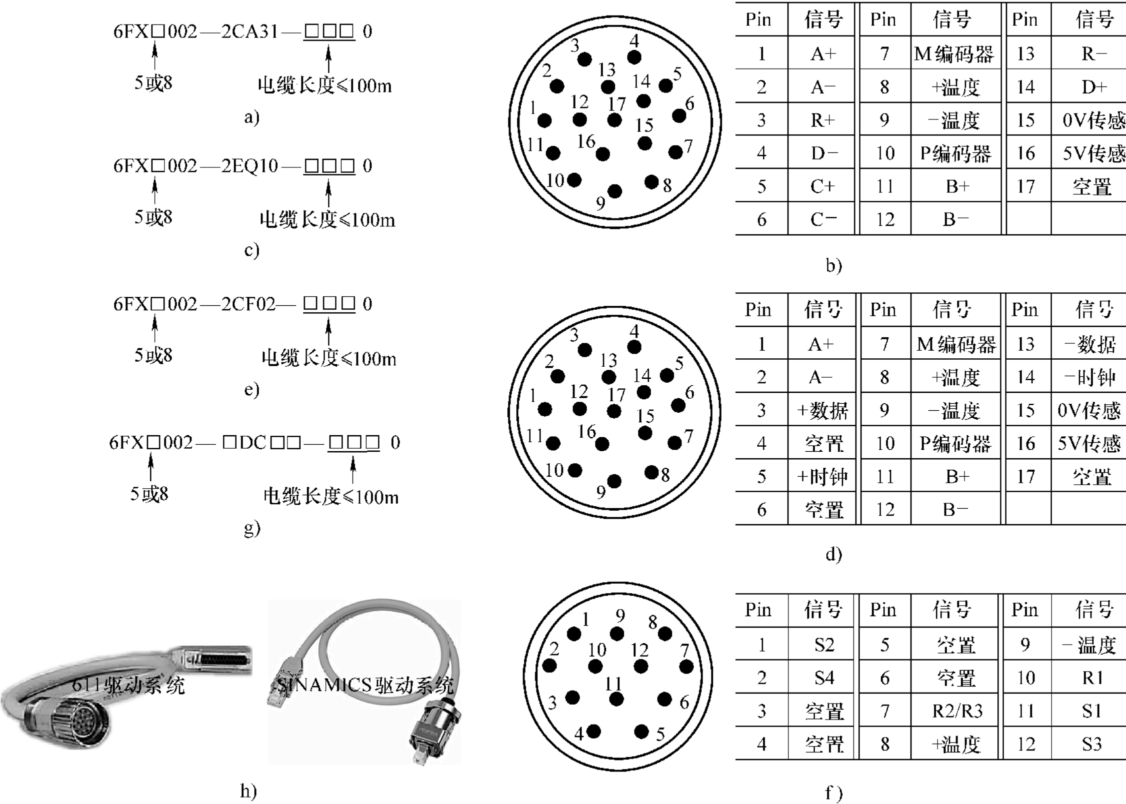
2）编码器系统的连接：先通过电动机功率铭牌中订货号 MLFB 第 14 个位置上的字母（见图 3-43），确定 1FT6 系列同步电动机编码器的类型及是否配置有 DRIVE – CLiQ 接口。其中字母“A”表示不带 DRIVE – CLiQ 接口的增量式编码器 sin/cos 1Vpp（2048S/R），字母“E”表示不带 DRIVE – CLiQ 接口的绝对值式编码器 EnDat（2048S/R），字母“T”表示不带 DRIVE – CLiQ 接口的 2 极/多旋转变压器，字母“D”表示带 DRIVE – CLiQ 接口的增量式编码器 sin/cos 1Vpp（2048S/R），字母“F”和“L”分别表示每转 2048 个脉冲和 512 个脉冲的带 DRIVE – CLiQ 接口的绝对值式编码器 EnDat，字母“P”表示带 DRIVE – CLiQ 接口的 2 极/多旋转变压器。再根据电动机编码器的类型及 DRIVE – CLiQ 接口的配置情况，确定 1FT6 系列同步电动机编码器与 611 功率模块或 S120 电动机模块的连接（见图 3-45）。

① 对于不带 DRIVE – CLiQ 接口的 1FT6 同步电动机与 SIMODRIVE 611 驱动系统连接时，既可使用带 17 芯法兰插座（电动机侧）的 MOTION – CONNECT 信号电缆 1 将增量式编码器 sin/cos 1Vpp 连接至 611 功率模块的 X411/X412 接口（单轴功率模块无 X412 接口，下同），以进行换向角度的测量（位置调节回路的间接增量测量）和电动机转速值的获取；又可使用带 17 芯法兰插座（电动机侧）的 MOTION – CONNECT 信号电缆 2 将绝对值式编码器 EnDat 连接至 611 功率模块的 X411/X412 接口，以进行电流示波线的角度测量（位置调节回路的绝对测量）和电动机转速值的获取；还可使用带 12 芯法兰插座（电动机侧）的 MOTION – CONNECT 信号电缆 3 将 2 极/多极旋转变压器连接至 611 功率模块的 X411/X412 接口，以进行电动机转速值的获取和逆变器转子位置编码器的更换。

② 对于不带 DRIVE – CLiQ 接口的 1FT6 同步电动机与 SINAMICS S120 连接时，必须在电动机和驱动器之间加装一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 以将编码器信号转换至 DRIVE – CLiQ

上。其中电动机编码器至 SMC 模块的连接电缆与该类型电动机在 611 驱动系统中所使用的 MOTION – CONNECT 信号电缆 1、2、3 相同，SMC 模块经 MOTION – CONNECT DRIVE – CLiQ 电缆连接至 S120 电动机模块的 X202/X203 接口（单轴电动机模块无 X203 接口，下同）。

③ 对于带 DRIVE – CLiQ 接口的 1FT6 同步电动机与 SINAMICS S120 连接时，可直接使用 MOTION – CONNECT DRIVE – CLiQ 电缆将已安装在电动机上的编码器模块（替代信号插头并带 1 个 10 针 RJ45plus 插座）连接至 S120 电动机模块的 X202/X203 接口，从而将分析的编码器数据和采集的电动机温度以及自动识别的电动机和编码器类型身份（可简化调试和诊断工作）经由电动机模块传输至 SINUMERIK 系统。*注意*：编码器模块仅在原始电动机上运行，不能装于其他电动机上使用或用其他电动机上的编码器模块代替。



b)

Pin	信号	Pin	信号	Pin	信号
1	A+	7	M编码器	13	R−
2	A−	8	+温度	14	D+
3	R+	9	−温度	15	0V传感
4	D−	10	P编码器	16	5V传感
5	C+	11	B+	17	空置
6	C−	12	B−		

d)

Pin	信号	Pin	信号	Pin	信号
1	A+	7	M编码器	13	−数据
2	A−	8	+温度	14	−时钟
3	+数据	9	−温度	15	0V传感
4	空置	10	P编码器	16	5V传感
5	+时钟	11	B+	17	空置
6	空置	12	B−		

f)

Pin	信号	Pin	信号	Pin	信号
1	S2	5	空置	9	−温度
2	S4	6	空置	10	R1
3	空置	7	R2/R3	11	S1
4	空置	8	+温度	12	S3

图 3-45　1FT6 系列同步电动机编码器的 MOTION – CONNECT 连接电缆及引脚分布

a）MOTION – CONNECT 信号电缆 1 的规格　b）增量式编码器（sin/cos $1V_{pp}$）– 17 芯插头的引脚分布

c）MOTION – CONNECT 信号电缆 2 的规格　d）绝对值式编码器 EnDat – 17 芯插头的引脚分布

e）MOTION – CONNECT 信号电缆 3 的规格　f）旋转变压器 – 12 芯插头的引脚分布

g）MOTION – CONNECT DRIVE – CLiQ 电缆规格　h）MOTION – CONNECT 信号电缆与 DRIVE – CLiQ 电缆实物

3）电动机热保护的连接：由于 1FT6 系列同步电动机在正常情况下的温度上升并不快（如 1FT6084 – ∗AF7∗电动机的热时间常数 $Tth = 35\text{min}$），故它仅使用 1 个具有极性要求的温度传感器 KTY84（标准防护型热保护方式）对运转中的电动机定子绕组的线圈温度进行采集和监控以防止其过载至最大电流。且 KTY84 的信号与电动机编码器信号一起，经由 MOTION – CONNECT 信号电缆或 DRIVE – CLiQ 电缆传送至 611 功率模块或 S120 电动机模块中。有关电动机过热报警

的机理分析，请读者参见第3.1.4节“主轴电动机过热报警的故障分析”中的相关内容。

4）1FT6系列同步电动机与SIMODRIVE 611D驱动系统的连接实例：特别适用于乘用车和商用车等生产企业的Oerlikon－C50型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D系统），是一种利用持续分度法或个别分度法对所有节距形式的螺旋锥齿轮和准双曲面锥齿轮进行批量干式切削加工（渗碳硬化型金属滚刀）的6轴式高效数控机床。该机床的刀具驱动系、工件驱动系和基角驱动系均为垂直结构布置形式，其中刀具驱动系包含控制刀具旋转的*A*轴（即刀盘主轴）、用于刀具切深进给且行程为610mm的*X*轴（铣削深度）、进行刀具水平定位且行程为820mm的*Y*轴、控制倒角滚刀旋转的*Q*轴与定位用的*X*2轴，工件驱动系包含控制工件旋转的*B*轴（即工件主轴）以及用于工件水平定位且行程为230mm的*Z*轴，基角驱动系仅有一根用于工件摆动控制且回转范围为±90°的*C*轴（基角）。同时这些运动轴均采用SIMODRIVE 611D驱动系统控制1FT6、1FK7系列永磁同步伺服电动机和1FW6系列转矩电动机旋转而对机床进行直接驱动。机床*X*、*Y*、*Z*轴所分别配置的伺服电动机1FT6086－8WH71－4EH1、1FT6105－8AF71－4EG1和1FT6082－1AF71－4EG1与驱动系统的连接，如图3-46所示。机床其他轴所配置伺服电动机与驱动系统的连接，将在后续章节进行介绍。

5）1FT6系列同步电动机与SINAMICS S120驱动器的连接实例：适用于重型汽车和工程机械等生产企业的YKX3132M型数控滚齿机（802Dsl系统），是一种利用展成法对直齿轮、螺旋齿轮（斜齿轮）和锥度齿轮及鼓形齿轮进行批量湿式（F－43防锈切削油）切削加工的4轴式高效数控机床。该机床采用SINAMICS S120驱动器控制永磁同步伺服电动机1FT6086－8AF71－3DG0、1FT6084－8AC71－3DA2和1FT6084－8AC71－3DH0旋转，再通过滚珠丝杠和蜗轮蜗杆等运动副的机械传动，而分别实现*W*轴的差动运动、*X*轴的切向进给传动和*Z*轴的轴向进行传动。*W*、*X*、*Z*轴所配置的1FT6系列同步电动机与驱动系统的连接，如图3-47所示。

（3）1FT6系列永磁同步伺服电动机的冷却降温　1FT6系列同步电动机有自然风冷、强制风冷和水冷3种冷却形式。其中自然风冷形式的有1FT6021、1FT6031、1FT6041和1FT6061等同步电动机，这些电动机的定子绕组和定子铁芯所产生的损耗热量可经高质量的热耦合传导至电动机外壳并由外壳直接向外散发；强制风冷形式的有1FT6084、1FT6105、1FT6132和1FT6134等同步电动机，这些电动机是通过外装风扇单元（机床一开风扇单元就工作）进行强制风冷而散发热量的；水冷形式的有1FT6064、1FT6086、1FT6108、1FT6136和1FT6163等同步电动机，这些电动机是通过自身所带的内螺纹出入口连接一个水冷系统和热交换装置（即冷却装置）而散发热量的，并进一步提高了1FT6系列同步电动机的功率密度。注意：冷却水的流量和水质以及冷却水的进入温度（入口处）对电动机输出功率存在一定的影响，且严禁在电动机冷却水入口前（应装在出口处）安装节流阀以手动控制冷却水流量，避免出现气蚀现象而损坏电动机。

产生气蚀现象的原因：离心泵安装高度不合理会导致泵进口压力过低，当进口压力降至被输送液体在该温度下对应的饱和蒸气压时将发生汽化；汽化所生成的气泡在随液体自入口向外流动中，又因压力的迅速增大而急剧冷凝继而发生逆相变化，使得气泡瞬间溃灭，同时周围的液体会以很大的速度从周围冲向气泡中心而产生频率很高（每秒几万次）、瞬时压力可达几百至几千个大气压的冲击应力（发出噪声并使泵体振动），最终导致设备表面疲劳而发生腐蚀（表面斑痕及裂缝甚至呈海绵状逐步脱落），此种现象被称为气蚀现象。

2. 1FT7系列永磁同步伺服电动机

1FT7系列电动机是西门子公司在21世纪初推出的一款基于横向剖面技术和SPEED－CONNECT快速连接器的结构紧凑型三相交流永磁同步伺服电动机，因其具有转矩脉动相当低（＜1%）、短时过载能力强（自然风冷型可达4倍的静止转矩M_0）、径向跳动质量优良可获得最佳工件表面加工质量、转子惯量非常低可达到极高动态响应和最短周期时间、防护等级高

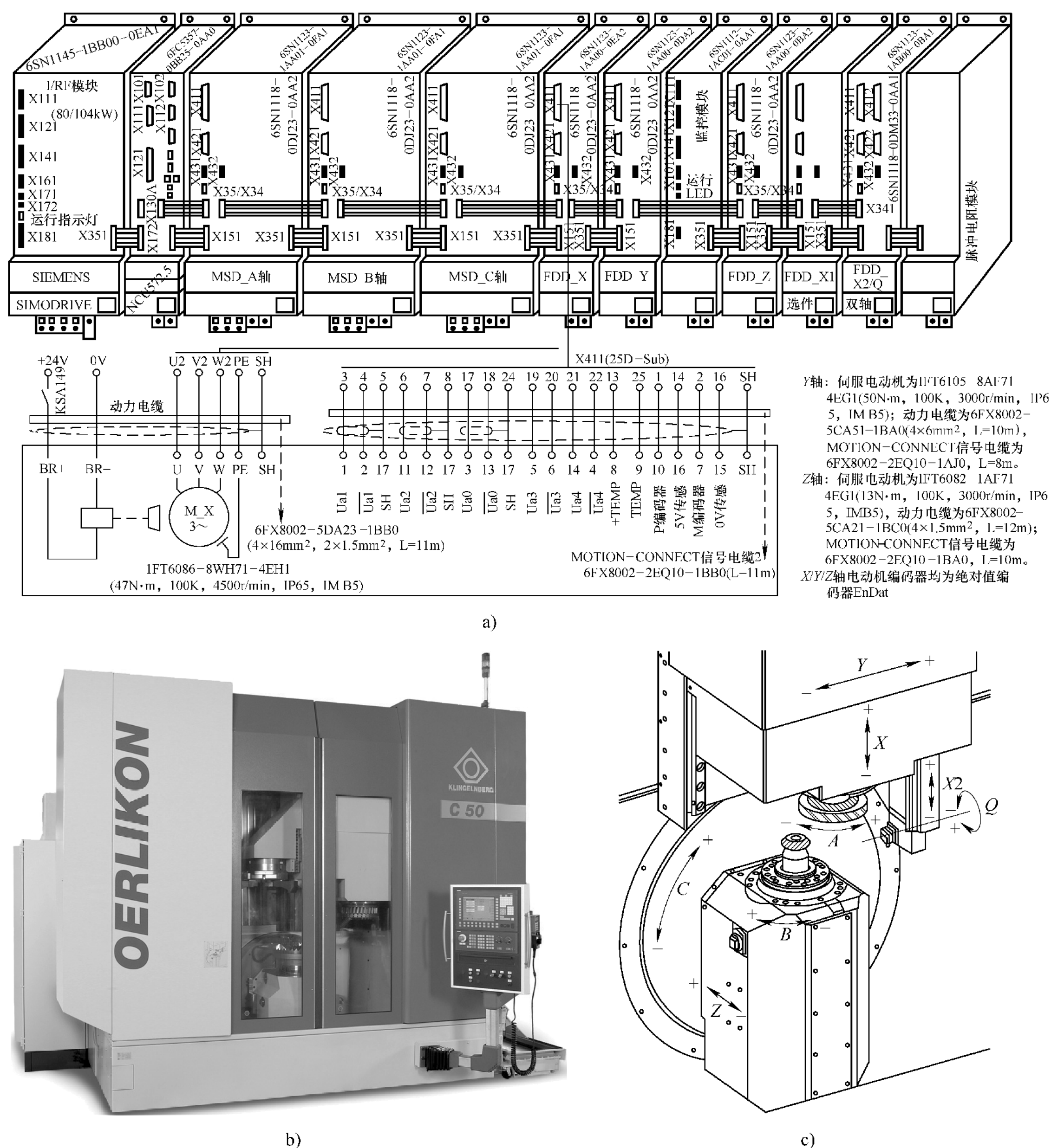


图 3-46 1FT6 系列同步电动机在 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）上的应用

a）X、Y、Z 轴的 1FT6 系列同步电动机与 SIMODRIVE 611D 驱动系统的连接

b）Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机 c）机床各运动轴的分布及旋转方向

（IP65）使功率部件和信号部件可在恶劣环境中使用、冷却性能好（自然风冷、强制风冷和水冷 3 种冷却形式）以及高抗振性编码器可快速更换（无需调整）的卓越性能，而被广泛应用于配置了 SINAMICS S120 驱动器且对动态性能（要求缩短非生产性辅助时间）、调速范围（含弱磁）、径向跳动和定位精度具有最高要求的高效率数控机床和高端生产机械中（见图 3-48），同时配置了新型法兰（面积减小）的电动机将更加适用于齿轮传动和 IM V3 结构的场合。

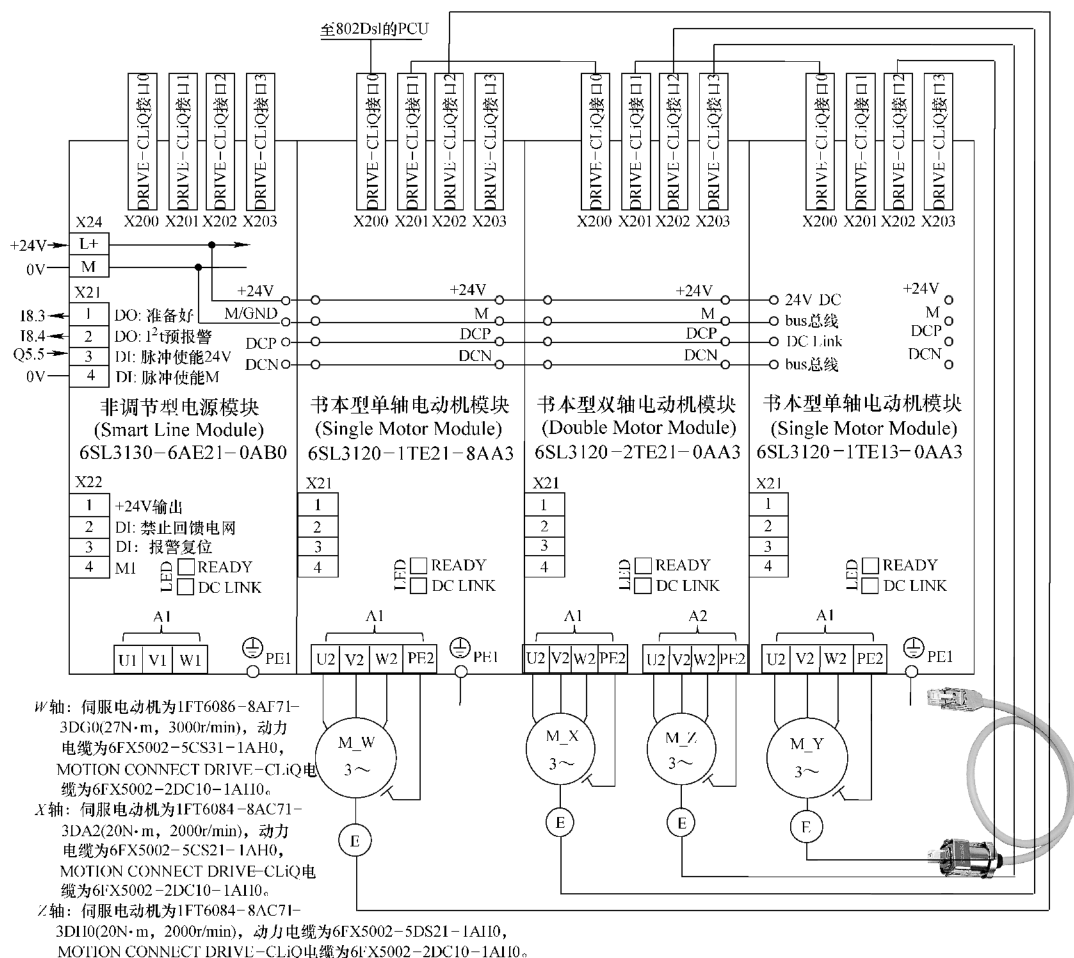


图 3-47　1FT6 系列同步电动机在 YKX3132M 型数控滚齿机（802Dsl 系统）上的应用

（1）1FT7 系列永磁同步伺服电动机的功率铭牌及数据说明（见图 3-49）　通常在电动机的功率铭牌上标注了该电动机的额定参数、使用极限和相关认证等信息，设计人员和维修人员应了解和读懂功率铭牌上的数据以正确选用和配置电动机（如更改相关参数）。

（2）1FT7 系列永磁同步伺服电动机与 SINAMICS S120 驱动器的应用连接　如图 3-50 所示。

1）动力电缆的连接：符合要求（即导线的横截面积和外直径）的 MOTION－CONNECT 6FX5/8 系列动力电缆一端接至 S120 电动机模块下方的电压输出端子 U2、V2、W2，另一端则通过带快速连接器的功率插头接至 1FT7 系列同步电动机 SPEED－CONNECT 连接器。

2）编码器系统的连接：先通过电动机功率铭牌中订货号 MLFB 第 14 个位置上的字母（见图 3-49），确定 1FT7 系列同步电动机编码器的类型及是否配置有 DRIVE－CLiQ 接口。再根据电动机编码器的类型及 DRIVE－CLiQ 接口的配置情况，确定 1FT7 系列同步电动机与 S120 电动机模块的连接。



序号	技术特征	特征描述
1	电动机类型	永磁同步伺服电动机(采用稀土磁性材料)
2	防护等级	IP65(强制风冷型上风扇位IP54)
3	电动机热保护	定子绕组(过热温度ΔT=100K)中采用温度传感器KTY84
4	电动机冷却形式	环境温度40°C的自然风冷型或强制风冷型及冷却水温30°C的水冷型
5	径向跳动、同轴度和轴向跳动公差	符合标准DIN42955(IEC60072-1)N级
6	振动强度等级	在额定转速范围内保持A级
7	传动轴末端形式	符合标准DIN748-3(IEC60072-1)的光轴
8	结构形式	符合标准EN60034-7(IEC60034-7)的IM B5(IMV1，IMV3)
9	电动机轴支承轴承	带永久性润滑的深沟球轴承；固定轴承位于驱动侧

序号	技术特征	特征描述
10	内置编码器系统	不带DRIVE-CLiQ接口的电机： • 增量式编码器，sin/cos 1Vpp，IC2048S/R带C，D信号 • 绝对值编码器EnDat，4096圈，AM2048S/R
		带DRIVE-CLiQ接口的电机： • 带11位换向位置的IC22DQ22位增量编码器(分辨率4194304，2048S/R) • AM22DQ绝对值编码器，22位单圈(分辨率4194304，2048S/R)-12位多圈)运行范围4096圈) • AS24DQI绝对值编码器，24位单圈(分辨率16777220，2048S/R) • AM24DQI绝对值编码器，24位单圈(分辨率16777220，2048S/R)-12位多圈(运行范围4096圈)
11	电动机和编码器的电缆连接	经功率插头和信号插头分别进行功率连接和编码器连接；电动机上的功率连接器和信号连接器在一定范围内可旋转

图 3-48　1FT7 系列永磁同步伺服电动机及技术参数

a）1FT7 系列同步电动机实物　b）1FT7 系列同步电动机的快速连接器 SPEED - CONNECT

c）1FT7 电动机的结构形式　d）1FT7 系列同步电动机的技术参数

① 对于不带 DRIVE - CLiQ 接口的 1FT7 同步电动机，连接时必须在电动机和 S120 电动机模块之间加装一块柜式安装的编码器转换模块 SMC 以将编码器信号连同温度传感器信号一同转换至 DRIVE - CLiQ 上。其中电动机编码器至 SMC 模块采用 MOTION - CONNECT 信号电缆连接（编码器类型不同信号电缆规格不同），SMC 模块则经 MOTION - CONNECT DRIVE - CLiQ 电缆连接至 S120 电动机模块的 X202/X203 接口。

② 对于带 DRIVE - CLiQ 接口的 1FT7 同步电动机，连接时直接使用 MOTION - CONNECT DRIVE - CLiQ 电缆将已安装在电动机上的编码器模块（替代信号插头并带 1 个 10 针 RJ45plus 插座）接至 S120 电动机模块的 X202/X203 接口，从而将分析的编码器数据和采集的电动机温度以及自动识别的电动机和编码器类型身份（可简化调试和诊断工作）经由电动机模块传输至 SINUMERIK 系统。*注意*：DRIVE - CLiQ 电缆的连接器必须完全插入直至锁定弹簧片完全扣紧为止。

3）电动机热保护的连接：与 1FT6 系列同步电动机相同，仅使用 1 个具有极性要求的温度传感器 KTY84（标准防护型热保护方式）对运转中的电动机定子绕组的线圈温度进行采集和监控以防止其过载至最大电流。且 KTY84 的信号与电动机编码器信号一起，经由 MOTION - CONNECT 信号电缆或 DRIVE - CLiQ 电缆传送至 S120 电动机模块中。

4）抱闸制动器（选购件）的连接：若电动机功率铭牌中订货号 MLFB 第 15 个位置上的字母为 B/E/H/L，则 1FT7 系列同步电动机装有额定电压为 DC24V（1 ± 10%）的抱闸制动器，以用于固定停止运转的电动机轴或有限制（转速 3000r/min 时不超过 200 次）的紧急制动。抱闸线圈不仅可通过带制动芯的 MOTION - CONNECT 动力电缆接至 S120 电动机模块的 BR +/BR - 端子，还可通过带有保护电路（用于避免断路时电压超过 DC26.4V 而使抱闸再次闭合）的外部电源进行控制。

（3）1FT7 系列永磁同步伺服电动机的冷却降温　该类型电动机有自然风冷、强制风冷和水冷 3 种冷却形式，可通过电动机功率铭牌中订货号 MLFB 第 9 个位置上的字母 A/S/W（A 为自然



a)

编号	描　述	编号	描　述
1	电动机类型：同步电动机	11	额定转速下的感应电压U_{IN}(单位为V)
2	识别编号，生产编号	12	耐热等级
3	静止转矩M_0(100K，单位为N·m)	13	电动机版本
4	额定转矩M_N(单位为N·m)	14	标准和规定
5	编码器类型标识	15	2D码
6	抱闸数据：型号，电压，功率消耗	16	防护等级
7	用于所有电气旋转机械的标准	17	电动机质量m(单位为kg)
8	电动机生产地	18	额定转速n_N(单位为r/min)
9	静止电流I_0(单位为A)	19	最大转速n_{max}(单位为r/min)
10	额定电流I_N(单位为A)	20	订货号MLFB

b)

c)

图3-49　1FT7系列永磁同步伺服电动机的功率铭牌及数据说明

a）功率铭牌的基本结构　b）功率铭牌的数据说明　c）电动机功率铭牌中MLFB的说明

风冷，S为强制风冷，W为水冷）进行辨别。自然风冷型1FT7电动机的定子绕组和定子铁心所产生的损耗热量是经高质量热耦合而传导至电动机外壳并由外壳直接向外散发的；强制风冷型1FT7电动机是通过外装风扇单元（见图3-51）进行强制风冷而散发热量的；水冷型1FT7电动机是通过电动机背面的2个内螺纹出入口连接一个水冷系统（最大运行压力6bar）和热交换装置（即冷却装置）而散发热量的，如此可进一步提高1FT7电动机的功率密度。

3. 1FK7系列永磁同步伺服电动机

1FK7系列电动机是西门子公司于2001年在1FK6系列同步电动机（已停止生产）的基础

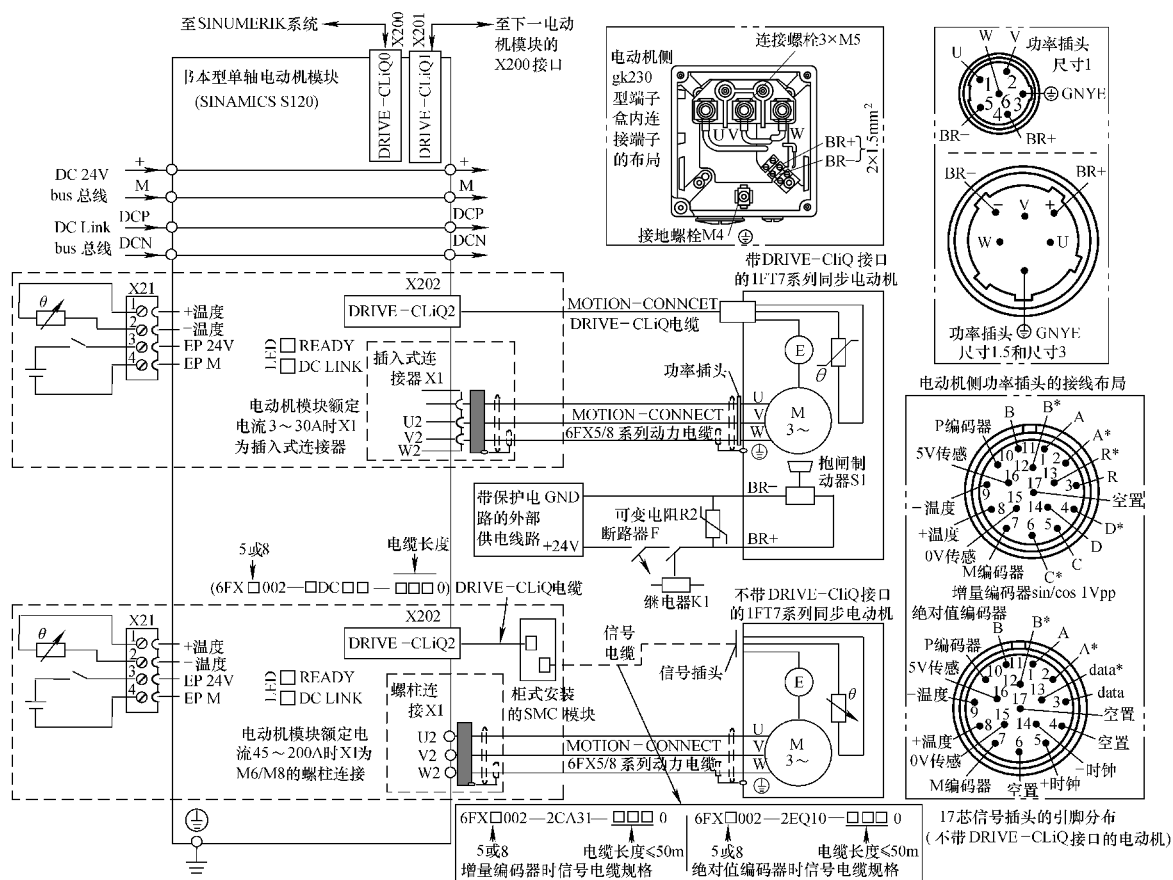


图 3-50 1FT7 系列永磁同步伺服电动机与 SINAMICS S120 的应用连接

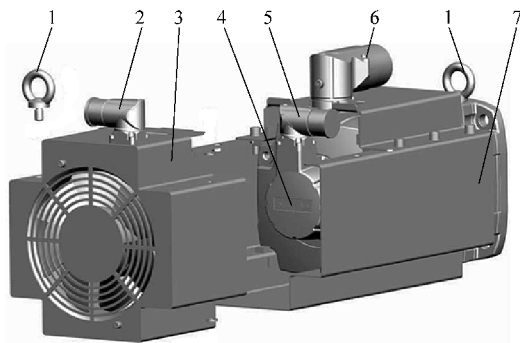


图 3-51 1FT7 系列永磁同步伺服电动机的外装风扇单元

1—吊环螺栓 2—风扇连接器 3—外装风扇单元 4—电动机编码器

5—信号连接器 6—功率连接器 7—1FT7 电动机

上，向市场推出的一款具有紧凑型（CT）和高动态型（HD）2 个类别的自然风冷式三相交流永磁同步伺服电动机。它可借助选配的齿轮单元和内装编码器以及扩展的电动机种类，与 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S110/S120 驱动系统组合而构成一套具有良好特性且功能强大的高效系统，以适用于一般的车床、铣床和机器人以及木工机械、纺织机械、装卸机械等各种应用场合

（见图 3-52）。其中 1FK7 紧凑型电动机因具有性能高度集中、可节省安装空间（体积比 1FK6 电动机小 25%）、电动机系列范围宽和通用性高的特点，而被应用于安装空间狭小的大多数行业的加工场合；1FK7 高动态型电动机因具有转子转动惯量小可保证极高动态响应能力的特点，而被应用于对动态性能有较高要求的生产机械上。

1FK708 高动态型
1FK706 高动态型
1FK704 紧凑型
1FK703 紧凑型

a)

电动机功率铭牌中的订货号MLFB：1FK7□□ □ □A□71 — 1□□□

轴高AH
结构长度
(5-紧凑型，7-高动态型)电动机类型
自然风冷型冷却方式
(F-3000r/min；H-4500r/min；K-6000r/min)额定转速

编码器类型：
不带DRIVE-CLiQ接口的电动机：A-IC2048S/R增量编码器，E-AM2048S/R绝对值编码器EnDat，H=AM512S/R绝对值编码器EnDat，G=AM32S/R单个绝对值编码器：J-AM16S/R绝对值编码器EnDat
带DRIVE-CLiQ接口的电动机：D-IC22DQ2048S/R增量编码器，F-AM22DQ2048S/R绝对值编码器，K=AM16DQ绝对值编码器，B=AS24DQI2048S/R绝对值编码器，C=AM24DQI2048S/R绝对值编码器，L=AM20DQ绝对值编码器，U=R15DQ旋转变压器，P=R14DQ旋转变压器，V=AM15DQ绝对值编码器

A=传动轴末端带键槽，N级圆跳公差，不带制动器；
B-传动轴末端带键槽，N级圆跳公差，带制动器；
G-传动轴末端为光滑轴，N级圆跳公差，不带制动器；
H=传动轴末端为光滑轴，N级圆跳公差，带制动器

防护等级：
0-IP64，1-IP65，2-IP65+传动侧法兰IP67，3-IP64-涂漆灰黑色，5=IP65+传动侧法兰IP67及灰黑色面漆，8-IP65+传动侧法兰IP67及灰黑色漆和电动机铭牌

b)

序号	技术特征	特征描述
1	电动机类型	永磁同步伺服电动机(采用稀土磁性材料)
2	防护等级	IP64；选件有IP65，或IP65+IP67(传动轴末端)
3	电动机热保护	因温度上升并不快(如1FK7083 5AF71的热时间常数Tth=50min)而仅在定子绕组中采用温度传感器KTY84
4	电动机冷却形式	环境温度40°C的自然风冷型(MLFB第9个位置为字母A)
5	径向跳动、同轴度和轴向跳动公差	符合标准DIN42955(IEC60072-1)的N级
6	振动强度等级	在额定转速范围内保持A级
7	传动轴末端形式	符合标准DIN748-3(IEC60072-1)的光轴
8	结构形式	符合标准EN60034 7(IEC60034 7)的IM B5(IM V1，IM V3)，与1FT7电动机的相同
9	电动机轴支承轴承	带永久润滑的深沟球轴承；固定轴承位于驱动侧
10	电动机和编码器的电缆连接	经功率插头和信号插头分别进行功率连接和编码器连接；电动机上的功率连接器和信号连接器在一定范围内可旋转；2代1FK7电动机可采用快速连接器(SPEED-CONNECT)连接
11	内置编码器系统(由MLFB第14个位置的字母确定类型)	不带DRIVE-CLiQ接口的电动机： •IC2048S/R增量编码器sin/cos1Vpp带C，D信号，用于AH20～AH100 •AM22048S/R绝对值编码器EnDat，4096圈，用于AH20～AH100 •AM512S/R绝对值编码器EnDat，4096圈，用于AH28 •AM16S/R绝对值编码器EnDat，4096圈，用于AH20和AH28 •多极/2极旋转变压器(极数=电机的极数)，用于AH20和AH28 带DRIVE-CLiQ接口电动机： •AS24DQI绝对值编码器，24位单圈，用于AH36～AH100 •AM24DQI绝对值编码器，24位单圈+12位多圈，用于AH36～AH100 •AS20DQI绝对值编码器，20位单圈，用于AH36～AH100 •AM20DQI绝对值编码器，20位单圈+12位多圈，用于AH36～AH100 •IC22DQ增量编码器，22位+11位换向位置，用于AH20～AH100 •AM22DQ绝对值编码器，22位单圈+12位多圈，用于AH36～AH100 •AM20DQ绝对值编码器，20位单圈+12位多圈，用于AH28 •AM15DQ绝对值编码器，15位单圈+12位多圈，用于AH28 •R15DQ旋转变压器，15位，用于AH28 •R14DQ旋转变压器，14位，用于AH28
12	抱闸制动器(选购件)	通过带制动芯的动力电缆或带保护电路的外部控制电路，可连接额定电压为DC 24V(1±10%)的抱闸制动器，以固定停止运转的电动机轴或有限制(转速3000r/min时不超过200次)的紧急制动

c)

图 3-52　1FK7 系列永磁同步伺服电动机及技术参数

a）1FK7 系列同步电动机实物　b）1FK7 同步电动机功率铭牌中 MLFB 的说明　c）1FK7 系列同步电动机的技术参数

1FK7 系列永磁同步伺服电动机与 SINAMICS S120 驱动器组合时，其动力电缆、编码器系统和电动机热保护（KTY84）及抱闸制动器（选购件）的连接，可参照 1FT7 系列永磁同步伺服电动机的执行。1FK7 系列永磁同步伺服电动机与 SIMODRIVE 611 驱动系统组合时，其动力电缆、编码器系统和电动机热保护（KTY84）及抱闸制动器（选购件）的连接，可参照 1FT6 系列永磁同步伺服电动机的执行。在此给出同步伺服电动机 1FK7060－5AH71－1EG8（倒角滚刀旋转轴 *Q*）和 1FK7060－5AF71－1EH8（倒角滚刀定位轴 *X*2）在 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）中与 SIMODRIVE 611D 的实际连接（见图 3-53），供读者借鉴学习。

4. 1FN1/1FN3/1FN6 系列直线电动机

在综合考虑数控机床的精度要求、加工范围和制造成本等因素的前提下，粗加工数控机床多采用普通的齿轮齿条副或滚珠丝杠副进给传动结构；行程短、切削负载小和精度要求高的中小型



说明：末注 ➤ 为来自Z轴功率模块的信号；末注 ●➤ 为送至X21/X22(机床内置上料系统的装载轴)双轴功率模块的信号。

a)



b)



c)

图 3-53　1FK7 系列同步电动机在 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）上的应用

a）$Q/X2$ 轴的 1FK7 系列同步电动机与 SIMODRIVE 611D 驱动系统的连接

b）Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机　c）机床内置上料系统装载轴的分布及旋转方向

数控机床，通常选用滚珠丝杠副进给传动结构（垂直进给方向必须安装抱闸制动装置），也可根据低速大转矩要求适当增加减速机构；大行程、高精度和重载切削的数控机床，则更多地采用齿轮齿条副进给传动消隙结构。

a)　b)

c)　d)

图 3-54　数控机床的进给传动方式

a）齿轮减速＋滚珠丝杠副传动　b）同步带＋滚珠丝杠副传动

c）伺服电动机＋滚珠丝杠副直接连接传动　d）直线电动机直接驱动

由于上述的滚珠丝杠副传动和齿轮齿条副传动（见图3-54a、图3-54b和图3-54c），均需借助滚珠丝杠、联轴器或传动带等中间机械变换环节而间接获得直线运动，故无法满足超高速、超精密数控机床的精度要求。但取消了易磨损及运行不平稳电动机部件的西门子1FN1/1FN3/1FN6系列直线电动机（见图3-55）可将进给传动链缩短为零，使驱动力类似磁悬浮列车般进行无接触地直接传递，从而使数控机床的进给驱动机构不仅具有很高的动态性能，还可获得极高的控制精度并且不存在过冲现象。

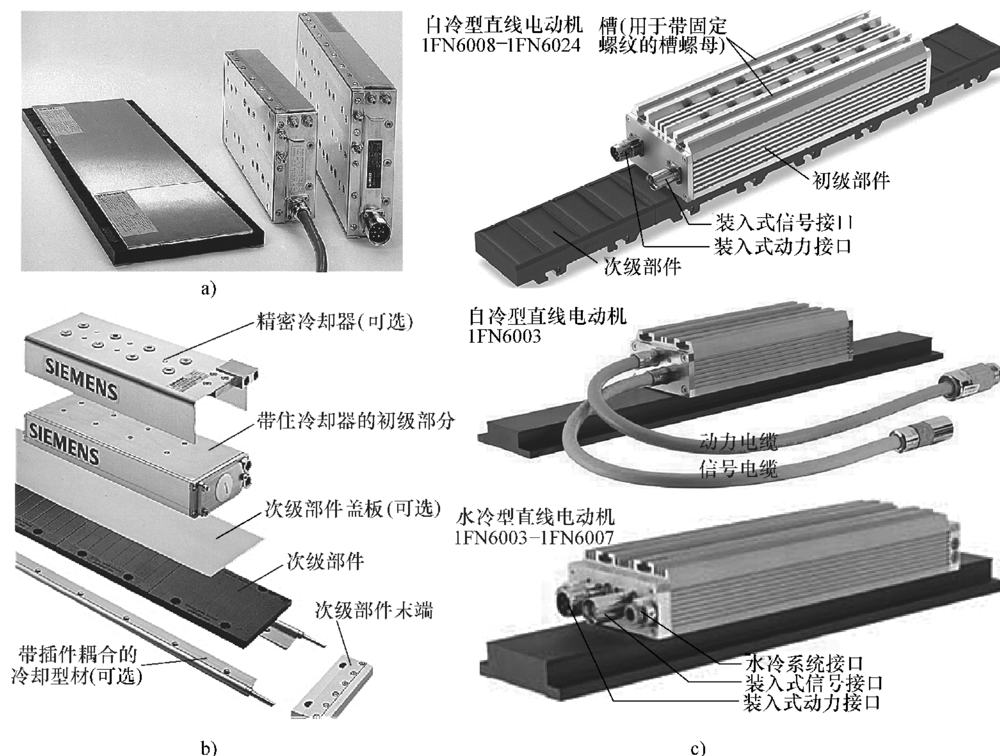


图3-55　西门子1FN1/1FN3/1FN6系列直线电动机
a）1FN1直线电动机　b）1FN3直线电动机　c）1FN6直线电动机

1FN1/1FN3/1FN6系列直线电动机属于在SIMODRIVE 611或SINAMICS S120等驱动系统上运行的三相交流永磁同步电动机，主要由初级部件、次级部件和线性位置测量系统以及导轨系统、水冷系统（可选）、动力拖链等附属装置组成。其中初级部件包含三相绕组和产生激励磁场的集成式永磁磁芯，以固定尺寸形式安装在可高速运转并具有较高轨道精度的导轨上；次级部件由稀土材料制成，采用分层结构并可根据所需运行长度和驱动排列进行分段安装，同时次级部件上因不存在磁场而使得其导轨为开放式，可以不用采取任何强磁场防护措施；线性位置测量系统可采用LC183/LC483封装型绝对值编码器EnDat、LS187/LS487封装型增量式编码器sin/cos 1Vpp或LIDA185/LIDA485/RenishawRG2未封装型增量式编码器sin/cos 1Vpp，并在温度适合条件下联合840D/840Dsl/828D等SINUMERIK系统和驱动系统构成一个闭环控制系统进而实现纳米级定位（见图3-56）。当直线电动机工作时，来自驱动系统的电流会流过置于永磁场中的导体并使导体因作用力产生移动，进而带动工作台等部件实现运动以完成各项切削任务。通常，1FN1系列直线电动机应用于高速切削或磨削等场合，主要进行非圆加工（多为双面直线电动机）和超精加工，其额定输出力和最大输出力分别为790～6600N和1720～14500N，且最大速度可达96m/min。1FN3系列直线电动机适用于具有高动态特性的数控机床（如激光切割机）及结构可

灵活布置的传送线等现代加工设备，其额定输出力和最大输出力分别为 200～8100N 和 550～20700N，且最大速度可达 370m/min。1FN6 系列直线电动机因二次部分的形状类似于一个齿轮齿条，且可替代传统的齿轮齿条传动方案而被称为"电子齿轮齿条"，它适合于次级部件开放式应用及运动行程较长的场合，既可作为机器人、加工中心或磨床的运动轴使用，也可作为以激光束/水射流为割炬的数控切割机的操作轴使用，还可作为传输线等自动化设备的轴总成。自冷型直线电动机的最大输出力和最大速度分别为 157～8080N 和 1280m/min，水冷型直线电动机的最大输出力和最大速度分别为 157～1890N 和 852m/min。

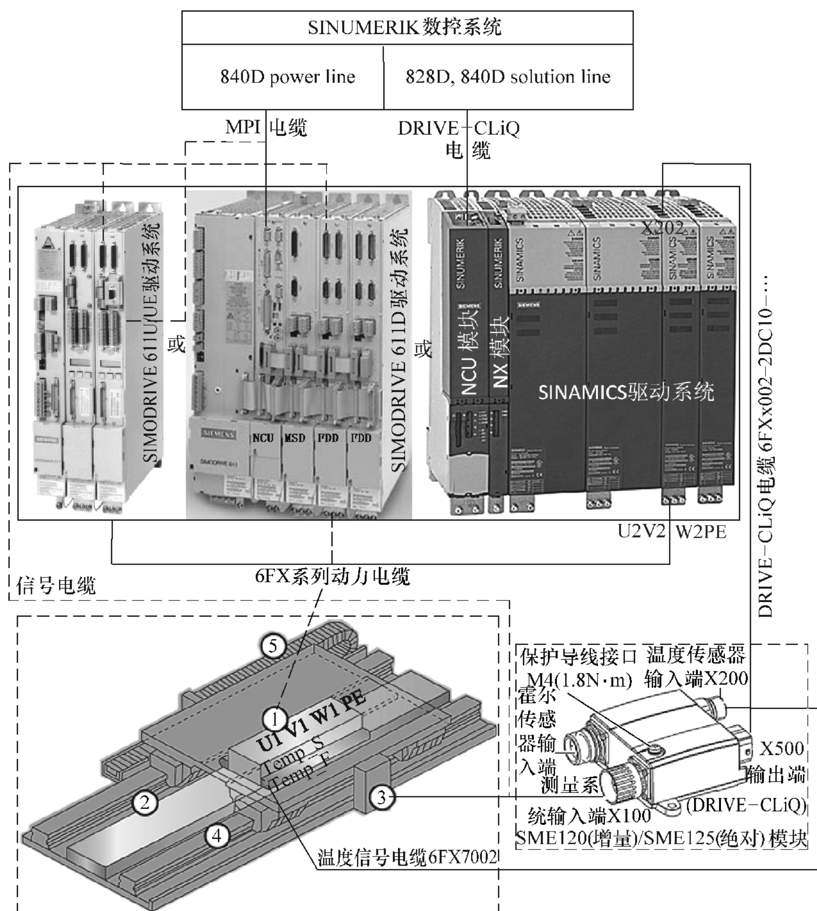


图 3-56 1FN1/1FN3/1FN6 系列直线电动机与 SIMODRIVE 611 和 SINAMICS S120 的连接

1—初级部件 2—次级部件 3—线性位置测量系统 4—导轨系统 5—动力拖链

（1）1FN6 系列直线电动机在机床上的 3 种安装方法

1）通过分步安装次级部件导轨进行安装的方法（推荐，见图 3-57）：使用该方法的前提条件为整条次级部件导轨可分为两段，其中每段至少可达到滑块的长度。安装操作步骤如下：

① 安装滑块（包括直线导轨），将背面外壳上带有 T 形槽螺母的初级部件通过螺纹孔压紧到滑块上，并注意固定螺钉的拧入深度以免损伤电动机组件。

② 将安好的滑块推向一侧（右）后在另一侧（即相对侧）安装次级部件导轨——固定螺钉自下方穿过机座上的钻孔与次级部件上的槽螺母进行耦合紧固，从而将平整清洁的次级部件导轨压紧到机座上，要注意固定螺钉的拧入深度和拧紧转矩（如 1FN6003～1FN6007 水冷型电动机使用的 8.8 级 M6 固定螺钉的拧入深度为 1.4 倍的螺钉直径且拧紧转矩为 9N·m，而 1FN6008～

1FN6024 自冷型电动机使用的8.8级M10固定螺钉自次级部件支承面至槽螺母的最大拧入深度为12mm，拧紧转矩为43N·m）。

③ 将滑块推至已安装完毕的次级部件导轨上方，移动过程中务必注意次级部件导轨方向上所产生的巨大吸引力可能带来的压伤手指等伤害。

④ 安装另一部分次级部件导轨。

⑤ 电动机组件安装完毕后应使用0.1mm分度的多条无磁性测试带检查初级部件与次级部件之间的机械空隙（1FN6003～1FN6007水冷型电动机为0.6mm，1FN6008～1FN6024自冷型电动机为1.4mm），检查滑块在整个运行范围内的运行灵活度。注意：初级部件相对于次级部件导轨运动时电动机接口上会产生感应电压。

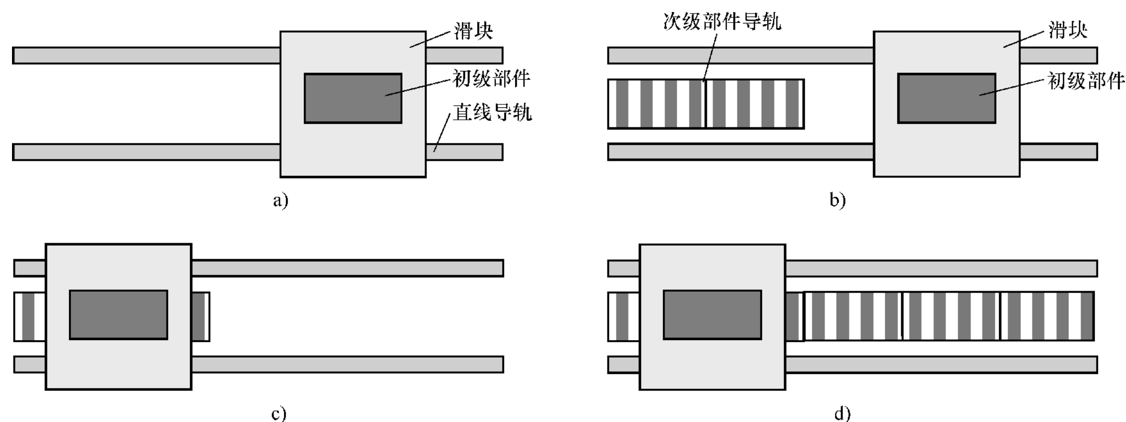


图3-57　通过分步安装次级部件导轨而安装1FN6直线电动机的过程
a）安装滑块和初级部件　b）滑块的相对侧安装次级部件导轨
c）滑块推至安装完毕的次级部件上方　d）安装另一部分次级部件导轨

2）通过引入滑块进行安装的方法：因维护和运行原因需频繁拆装1FN6直线电动机时，或因次级部件导轨总长度过小，又或者采用双梳式电动机规格而使次级部件无法分为多段时，均可采用此方法。此时可使用特殊引入装置经导轨将电动机的运动部分（滑块）推入电动机零件中已安装完毕的固定外壳上。

3）通过加装电动机零件进行安装的方法（见图3-58）：在无法采用其他方法进行1FN6直线电动机安装时，可采用此方法。该方法操作起来较以上两种方法有一定的难度，且安装时所需的间隔垫片和分离装置须由维修人员自行制作。该方法的安装操作步骤如下：

① 安装次级部件导轨——固定螺钉自下方穿过机座上的钻孔与次级部件上的槽螺母进行耦合紧固，从而将平整清洁的次级部件导轨压紧到机座上。

② 通过分离装置（其加压螺钉不得压到次级部件，且长度须足以用于加装后初级部件的提升）将初级部件定位至已安装好的次级部件导轨中心的上方，并向不可磁化材料制成的间隔垫片（如1mm厚的塑料薄膜）方向缓慢地下降，其分离装置的作用是使初级部件和次级部件导轨表面间保持20～30mm的间距以克服安装初级部件时在次级部件导轨方向上所产生的高达30kN的引力。

③ 拆除分离装置和止推轴承块，但保留初级部件和次级部件导轨间的间隔垫片。

④ 推入滑块至初级部件的上方后通过紧固初级部件上的固定螺钉而均匀拧紧滑块以将初级部件提升至其设定位置，然后拆除间隔垫片。

⑤ 电动机组件安装完毕后应使用0.1mm分度的多条无磁性测试带检查初级部件与次级部件之间的机械空隙以及滑块在整个运行范围内的运行灵活度。

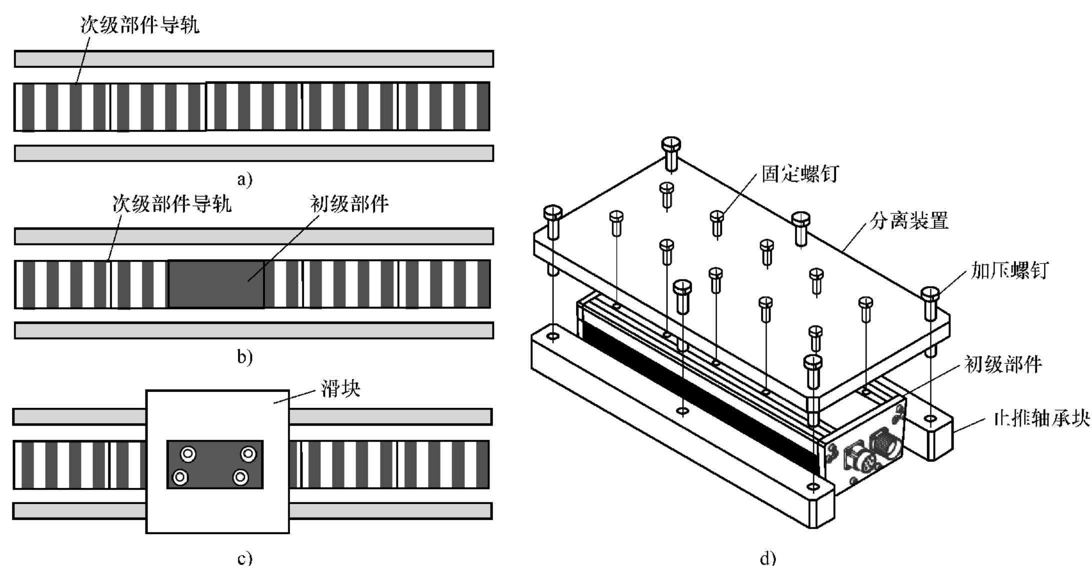


图 3-58 通过加装电动机零件而安装 1FN6 直线电动机的过程

a）安装次级部件导轨 b）通过分离装置加装初级部件

c）安装滑块以提升初级部件 d）安装时使用的分离装置结构图

（2）1FN6 系列直线电动机与 SIMODRIVE 611 或 SINAMICS S120 的应用连接 参见图 3-56。

1）动力电缆的连接：使用符合规定（电动机额定电流决定电缆芯线的横截面积与最大允许长度）的 4 芯全螺纹连接式 MOTION－CONNECT 动力电缆 6FX8002－5CS…或带有 SPEED－CONNECT 连接器的 MOTION－CONNECT 动力电缆 6FX8002－5CN…，并经由电动机侧的装入式动力接口（1FN6007～1FN6024）或动力连接器（1FN6003），将电动机初级部件上的连接端子 U1、V1、W1 对应连接至 611 功率模块或 S120 电动机模块的动力接线端子 U2、V2、W2 上。当电动机额定电流 $I_N \leqslant 9A$ 时，动力电缆最大允许长度 $L_{max}=50m$；当 $9A < I_N \leqslant 18A$ 时，$L_{max}=70m$；当 $I_N \geqslant 30A$时，$L_{max}=100m$。注意：初级部件运动时连接端子 U1、V1、W1 上会产生危险的感应电压。

2）信号电缆的连接：1FN6 直线电动机与 611 功率模块组合时，其温度传感器和线性位置测量系统的信号可通过全螺纹连接式 MOTION－CONNECT 信号电缆直接一起传递至 611 功率模块的数字式控制板上。1FN6 直线电动机与 S120 电动机模块组合时，其温度传感器和线性位置测量系统的信号需先通过最大允许长度不超过 3m 的全螺纹连接式 MOTION－CONNECT 信号电缆分别传递至外部安装式编码器转换模块 SME120（增量）或 SME125（绝对）的 X200（温度传感器输入端）和 X100（测量系统输入端），然后再由 SME12x（x＝0/5）模块的 X500（输出端）通过最大允许长度不超过 100m 的 6FX5002 型 DRIVE－CLiQ 电缆或最大允许长度不超过 50m 的 6FX8002 型 DRIVE－CLiQ 电缆将这两种信号一起传送至 S120 电动机模块的 X202。*注意*：信号电缆不可采用 SPEED－CONNECT 连接。

3）温度监控回路的连接（见图 3-59）：1FN6 直线电动机的初级部件中有 2 个相互独立的温度监控回路——Temp－F 和 Temp－S。其中 Temp－F 内含 1 个位于导轨上的具有极性要求的 KTY84 传感器（其电阻变化与绕组温度变化成正比），主要是对处于运转中的直线电动机进行温度采集和监控以防止其过载至最大电流；Temp－S 中则包含 3 个一组串联（每个相位绕组各 1 个）的无极性要求的正温度系数热敏电阻，以用于绕组过热（如单个初级部件的各相位电流馈电不当或多个初级部件负载不同的情况下）时激活直线电动机的保护功能，并在 1s 内切断电源

供应（驱动系统中脉冲禁止）。

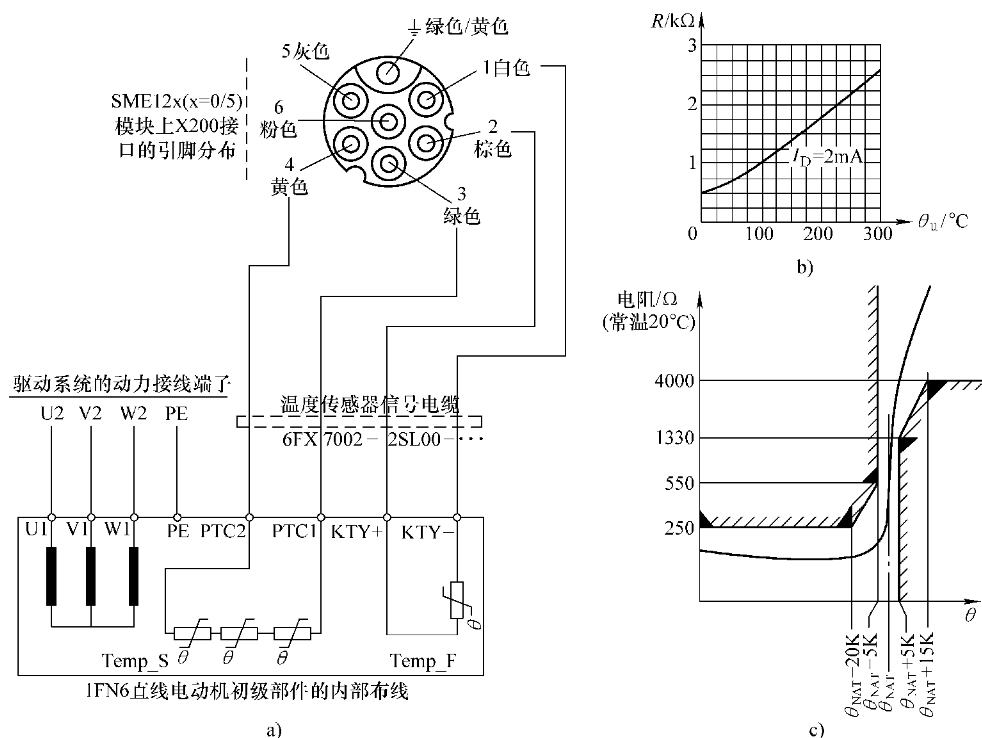


图3-59　1FN6直线电动机中温度监控回路与SME模块的连接

a）温度监控回路与SME的连接　b）KTY84的温度曲线　c）PTC的开关特性

注：θ_{NAT}为额定响应温度，+5K、+15K、−5K、−20K均为公差。

（3）1FN6系列直线电动机在SIMODRIVE 611驱动系统中的调整　若机床某进给轴配置1FN6直线电动机和光栅尺，则说明该轴仅有一个编码器（MD30200：NUM_ ENCS＝1）。对直线电动机进行调试时，需先调整相序再调整换向角。

1）调整相序：机床上电之前先按下急停按钮（急停生效），上电后在SINUMERIK系统的HMI上设定机床数据MD1105：MOTOR_ MAX_ CURRENT_ REDUCTION＝5（降低最大电动机电流为5%）使伺服轴的运行变得很慢。释放急停按钮并将手一直放在该按钮上以备异常时随时将其按下，使系统上电启动。在JOG方式下通过MCP上的［+］键正向移动该轴（或［−］键负向移动），观察轴的运动方式是否与按键的要求方向一致。若不一致则在HMI上更改机床数据MD32110：ENC_ FEEDBACK_ POL［0］，或者在机床断电（等待4min以上使直流母线放电完毕）状态下调换611功率模块上U2、V2、W2动力输出的相序。若一致则进行换向角的调整。

2）调整换向角：

① 设定MD1017.0：STARTUP_ ASSISTANCE ＝1并接通脉冲使能和调节器使能。

② 控制该进给轴行驶过零标记（如预设较小的$n_{设置}$）以使角度偏移值自动输入MD1016：COMMUTATION_ ANGLE_ OFFSET中并记录该数据。将该过程重复四次后对所记录的数据求平均值并将其输入MD1016中，进行数据保存。

③ 依次执行NCK复位后使机床各轴返回参考点。

④ 设定MD1736：TEST_ ROTORPOS_ IDENT＝1自动检测初级部件的位置，检测值存放于

MD1737：DIFF_ ROTORPOS_ IDENT 内。通常 MD1737 在 2°～3°的范围即可。注意：日后更换光栅尺时务必进行换向角的调整。

5. 1FW3/1FW6 系列转矩电动机

转矩电动机与直线电动机类似，也属于省略了滚珠丝杠、联轴器或传动带等中间机械变换环节而将进给传动链缩短为零的具有扁平结构的直接驱动型三相交流永磁同步电动机。它是根据“磁极对数越多、转子直径越大，所产生的转矩就越大”的电动机设计基本经验进行研制的，并通过法兰连接安装于机器上，通过与适合的驱动系统进行组合可实现相应的回转运动。目前，西门子公司的转矩电动机主要有 1FW3 和 1FW6 两个系列（见图 3-60）。其中 1FW3 系列为完整型转矩电动机（Complete Torque Motors），因其具有 200% 的过载能力和很高的抗冲击性（非运行状态下最大允许的径向加速度达 $50m/s^2$）等特点，而被应用于挤压机主驱动、压铸机蜗杆传动、拉膜机牵引辊传动和造纸机辊子驱动等重载场合以及动态定位加工（如回转工作台）等。1FW6 系列为带有冷却水套或集成冷却装置的内置式转矩电动机（Built－in Torque Motors），因其具有传动刚性好、惯性矩小和转子极数多（44～98）等特点，多与 SIMODRIVE 611D/U－HR 或 SINAMICS S120 等驱动系统组合后用于多面回转工作台式组合机床中回转工作台和多轴数控机床中回转轴（A/B/C）及动态刀库中旋转轴的驱动等。它主要包含带三相交流绕组的定子铁心和带永磁磁体的圆柱形空心钢轴式转子以及用于强制冷却的液体冷却器（主冷却器）等组件。

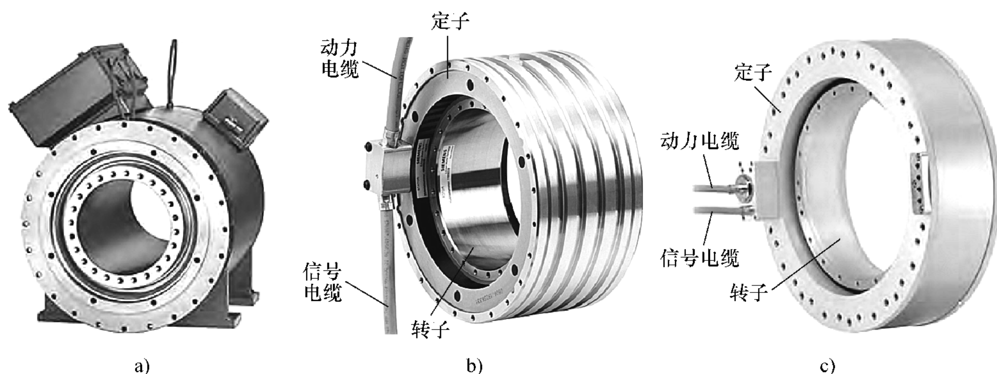


图 3-60 1FW3/1FW6 系列转矩电动机
a）1FW3 完整型转矩电动机 b）带冷却水套的内置转矩电动机 1FW6090～1FW6150
c）带集成冷却装置的内置转矩电动机 1FW6160～1FW6290

1FW6 系列转矩电动机不仅通过 MOTION－CONNECT 动力电缆将其连接至 611 功率模块或 S120 电动机模块的动力接线端子 U2、V2、W2 上，还通过适宜的信号电缆先将温度传感器信号（2 路 Temp_ S 和 1 路 Temp_ F）和角度编码器信号（增量式/绝对值形式）传递至外部安装的编码器转换模块 SME 上（见表 3-5），再由 SME 模块进行信号的转换后通过相应的信号电缆传递至 611 功率模块的数字式控制板上（接口 X411）或 S120 电动机模块的 DRIVE－CLiQ 接口 X202。其中 1FW6 系列转矩电动机与 611 功率模块在 Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）上的实例连接，如图 3-61 所示。与 S120 电动机模块的连接，可参见 1FN6 直线电动机与 S120 电动机模块的连接。

3.2.2 永磁同步电动机的工作原理

永磁同步电动机是近些年来伴随着电力电子技术、微电子技术、新型电动机控制理论和稀土永磁材料的快速发展而得以迅速推广和应用的。它与感应电动机相比，不再需要无功励磁电流

表 3-5　1FW6 转矩电动机与驱动系统连接时所使用的 SME 模块

模块名称	SME91	SME92	SME93	SME94	SME12x（x＝0/5）
模块实物	X1、X3、X5、PE端子	X1、X3、X6、X5、PE端子	X1、X2、X4、X5、PE端子	X1、X2、X4、X6、X5、PE端子	PE端子、X200、霍尔传感器输入口、X500、X100
模块型号	1FN1910－0AA20－1AA0	1FN1910－0AA20－2AA0	1FN1910－0AA20－3AA0	1FN1910－0AA20－4AA0	SME120：6SL3055－0AA00－5JA3 SME125：6SL3055－0AA00－5KA3
适用范围	与 SIMODRIVE 611D/U－HR 组合的 1FN 系列直线电动机和 1FW 系列转矩电动机				与 SINAMICS S120 组合的 1FN3/1FN6 系列直线电动机和 1FW6 系列转矩电动机，其中 SME120 用于增量式编码器，SME125 用于绝对值编码器
	连接绝对值形式的编码器信号 EnDat		连接增量式编码器信号		
功能特征	X1：输出至611 功率模块（D－Sub 的 X411 端口）的17 针接口，SME91/SME92 和SME93/SME94 的电缆规格分别为6FX□002－2EQ10－1□□0 和6FX□002－2CA31－1□□0 X2：仅 SME93/SME94，用于增量式行程及角度测量系统信号的输入（12 针），电缆规格为6FX□002－2CB54－… X3：仅 SME91/SME92，用于 EnDat 行程及角度测量系统信号的输入（17 针），电缆规格为6FX□002－2AD04）－… X4：仅 SME93/SME94，用于1FN 直线电动机上霍尔传感器盒信号的输入（9 针），电缆规格 6FX7002－2SL0□－1… X5/X6：分别为7 针的 TEMP1 和 TEMP2，均用于温度传感器信号的输入，但仅 SME92/SME94 有 X6 接口；1FW6 转矩电动机和1FN3050 直线电动机的温度电缆直接固定在电动机上，1FN3100～1FN3150 和1FN3300～1FN3900 直线电动机的温度电缆规格分别为6FX7002－2SL01－1□□0 和6FX7002－2SL02－1□□0				X100：电动机测量系统的输入端，SME120 为12 针 M23 插头，SME125 为17 针 M23 插头 X200：温度传感器信号输入端，均为6 针 M17 插头，电缆规格 6FX7002－2SL00－… X500：将温度信号和编码器信号一起输出至 S120 电动机模块（X202）的 DRIVE－CLiQ 接口，电缆规格为6FX□002－2DC10－… 霍尔传感器接口：仅 SME120 存在该接口（9 针 M23 插头）
说明	电缆规格中有关代码的定义：如电缆订货号MLFB为6FX□002-2CA31-1□□0 5为MOTION-CONNECT 500；7为MOTION-CONNECT 700；8为MOTION-CONNECT 800 长度代码：A—0m, B—1m, C—2m, D—3m, E—4m, F—5m, G—6m, H—7m, J—8m, K—9m 长度代码：A—0m, B—10m, C—20m, D—30m, E—40m, F—50m, G—60m, H—70m, J—80m, K—90m				

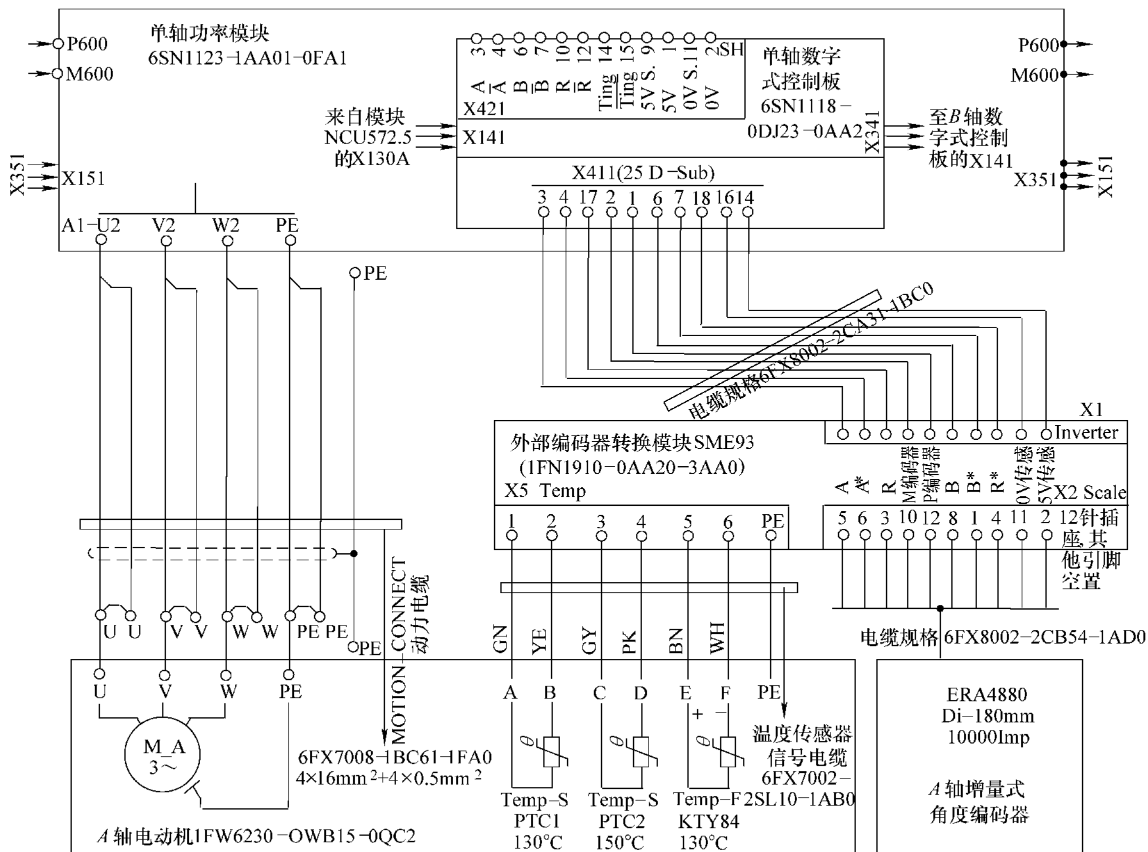


图 3-61　1FW6 系列转矩电动机在 Oerlikon - C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机（840D 系统）上的应用

注：未注→为来自电源模块的信号；未注 •→为送至 B 轴功率模块的信号。

(用以在电动机绕组内建立气隙磁场）从而可显著提高功率因数，并且在稳定运行时没有转子电阻损耗使得总损耗降低而可减小或去掉（指小容量电动机）冷却风扇，从而使其效率比同规格的感应电动机提高 2～8 个百分点。

通常，永磁同步电动机主要由转子、定子和位置检测元件等部分构成（见图 3-62）。其中转子是用高导磁率的永久磁钢 6 作成的磁极（用永磁体取代了绕线式同步电动机中的励磁绕组进而省略了励磁线圈、滑环和电刷），可在电动机的气隙内产生足够的磁感应强度，同时转子中间穿有两端用轴承 13 支承且固定于机壳上的电动机轴 1。定子 5 是用矽钢片叠成的导磁体，导磁体的内表面有齿槽可嵌入用导线绕成的 A、B、C 三相对称绕组线圈 3，这一点与绕线式同步电动机的定子基本相同。电动机轴 1 后端装有可随之同步旋转的脉冲编码器 9（一般为霍尔开关或具有相位检测功能的光电脉冲编码器）以实时检测同步电动机转子的空间位置。脉冲编码器 9 将获取的位置值送至控制电路后，由控制器实时控制逆变器功率元件（定子绕组的开关器件）换向（即有序轮流导通）而实现驱动系统功率模块/电动机模块的自控换向，进而使电动机转子在驱动系统根据位置值与目标值比较后做出的更精确控制下通过调整角度而连续不断地旋转。脉冲编码器 9 的精度（线数）决定了永磁同步电动机的精度。

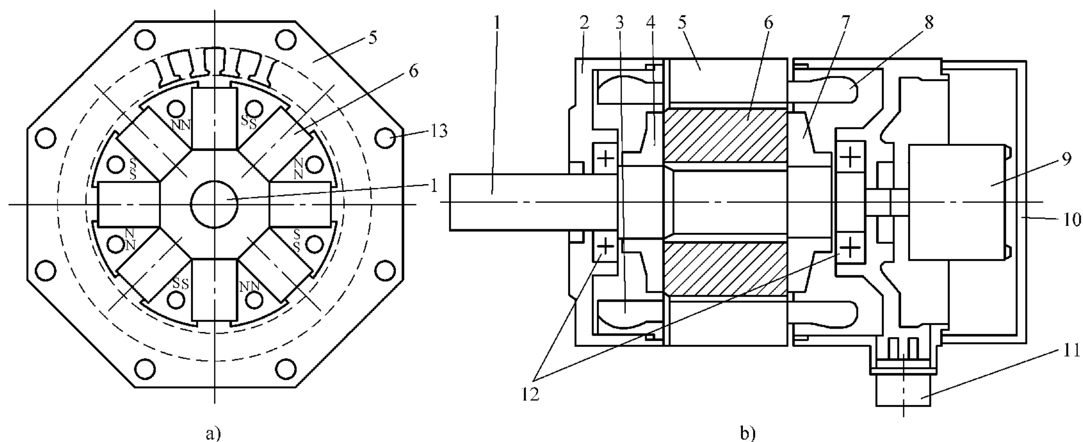


图 3-62　自然风冷型永磁同步电动机结构图

a）纵剖视图　b）横剖视图

1—电动机轴　2—前端盖　3—三相绕组线圈　4—压板　5—定子　6—磁钢　7—后压板　8—后端盖　9—脉冲编码器　10—电动机后盖　11—动力电缆与信号电缆插头　12—支承轴承　13—通风口

（1）永磁同步电动机的分类　根据转子极对数的不同，可将永磁同步电动机分为单极（即 1 对转子极对数，见图 3-63）和多极两种。根据永磁体在转子上安装位置的不同，可将永磁同步电动机分为表面式/隐极式、嵌入式和内埋式三种形式。其中表面式和嵌入式均属于转子直径较小和惯量较低的外装式结构。由于永磁体直接粘接在电动机轴上时可获得较低的电感进而有效改善电动机的动态性能，所以多数永磁同步电动机采用外装式结构。内埋式转子结构是将永磁体埋装在转子铁心的内部从而使得每个永磁体均被铁心所包容。此结构的永磁同步电动机与外装式结构的相比，具有机械强度高和磁路气隙小的特点，因而适合于弱磁场合下运行。另外，表面式永磁同步电动机所采用的永磁材料的磁导率十分接近空气，使得交、直轴电感基本相同。而在嵌入式和内埋式永磁同步电动机中交轴电感大于直轴电感而具有凸极效应，由此既可产生电磁转矩又可产生磁阻转矩，当该类型电动机中磁阻转矩被灵活利用时可获得高效率的运转。

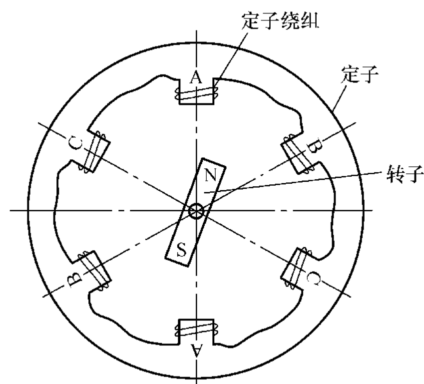


图 3-63　单极永磁同步电动机结构示意图

（2）永磁同步电动机运行时的电磁关系　当图 3-62 中永磁同步电动机的定子 5 通入三相交流电 $\dot{I}$（即电枢电流）时，三相电流在定子绕组线圈 3 的电阻 R_S 上产生电压降 $\dot{I}R$。由三相交流电 $\dot{I}$ 产生的旋转电枢磁动势 F_a 及建立的电枢磁场 $\dot{\phi}_a$，一方面切割定子绕组并在定子绕组中产生感应反电动势 $\dot{E}_a$，另一方面以电磁力吸住磁极 6 而拖动转子以同步转速 $n_S = \dfrac{60f}{p}$ 旋转。电枢电流 $\dot{I}$ 还会产生仅与定子绕组相交链的定子绕组漏磁通，并在定子绕组中产生感应漏电动势 $\dot{E}_\sigma$。此外转子永磁体所产生的磁场 $\dot{\phi}_0$ 以同步转速切割定子绕组而产生空载电动势 $\dot{E}_0$。因此可得到图

3-64 所示的永磁同步电动机运行时的电磁关系。

（3）永磁同步电动机矢量控制中的坐标系：目前，永磁同步电动机普遍采用矢量控制策略（1971 年西门子公司的 Blaschke 提出矢量控制思想）对主磁场和电枢磁场相互作用所产生的电磁转矩进行控制。在永磁同步电动机的矢量控制分析中，会用到 $A-B-C$ 三相静止坐标系、$\alpha-\beta$ 两相静止坐标系和 $d-q$ 同步旋转坐标系。

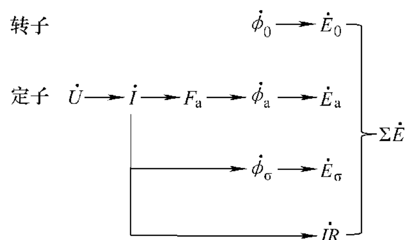


图 3-64　永磁同步电动机运行时的电磁关系图

1）$A-B-C$ 三相静止坐标系（见图 3-65a）：三相永磁同步电动机的定子中有三相绕组，其绕组轴线分别为 A、B、C，且彼此相差 120°空间电角度；当通以三相平衡的正弦电流时将产生一个旋转磁场。

2）$\alpha-\beta$ 两相静止坐标系（见图 3-65b）：在预先定义的 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系中，当 α 和 β 组成的两相绕组内通入两相对称正弦电流时也将产生一个旋转磁场，其效果与三相绕组产生的一样。由此可用 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系替代 $A-B-C$ 三相静止坐标系进行分析，从而简化运算过程。

3）$d-q$ 同步旋转坐标系（见图 3-65c）：永磁同步电动机转子励磁磁链方向为 d 轴正向，q 轴逆时针超前 d 轴 90°；$d-q$ 坐标系是随电动机气隙磁场同步旋转的坐标系，可将其视为放置在电动机转子上的旋转坐标系。

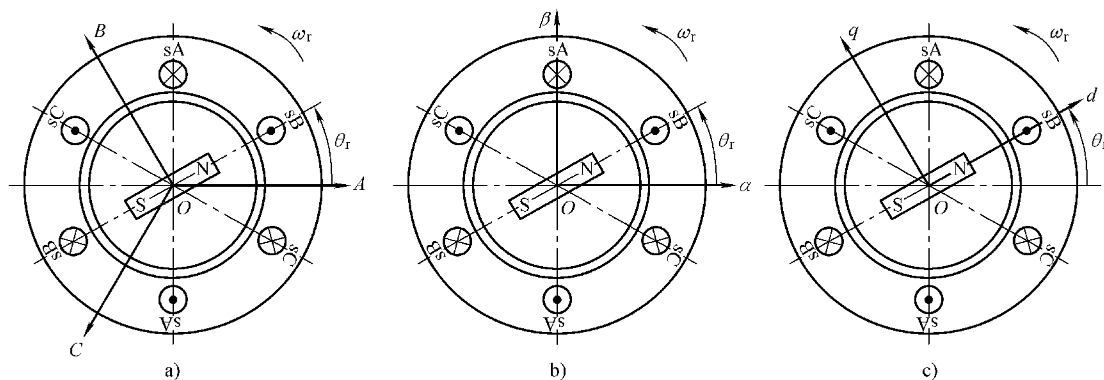


图 3-65　永磁同步电动机矢量控制涉及的 3 种坐标系
a）$A-B-C$ 三相静止坐标系　b）$\alpha-\beta$ 两相静止坐标系　c）$d-q$ 同步旋转坐标系

（4）永磁同步电动机矢量控制中的坐标变换　矢量控制的基本思想是在三相交流永磁同步电动机上设法模拟直流电动机转矩的控制规律（这是因为交流电动机定子侧的物理量——如电压、电流、电动势和磁动势均为交流量，其空间矢量在空间内以同步转速旋转而使得调节、控制和计算较难），通过磁场定向坐标的矢量变换（即使各物理量自静止坐标系转换至同步旋转坐标系以将各空间矢量变为直流量）而将三相交流永磁同步电动机的定子电流分解成产生磁通（直轴）的励磁电流分量 i_d 和产生转矩（交轴）的转矩电流分量 i_q，并使这两个分量相互垂直又彼此独立，然后分别进行调节进而可获得与直流电动机同样良好的动态特性。如此可将交流电动机矢量控制中改善转矩控制性能这一核心问题简化为对定子电流幅值和空间位置（频率和相位）的控制。作为矢量控制中磁场坐标的变换包含 $A-B-C$ 三相静止坐标系和 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系之间的坐标变换，两相/两相旋转坐标变换（即 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系和 $d-q$ 同步旋转坐标系之

间的坐标变换，简称 2s/2r 变换)，以及三相静止坐标系到任意两相旋转坐标系上的变换（简称 3s/2r 变换)。

1）$A-B-C$ 三相静止坐标系和 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系之间的坐标变换（见图 3-66)：为了方便起见，取 α 轴与 A 轴重合，设三相系统每相绕组的有效匝数为 N_3，两相系统每相绕组的有效匝数为 N_2，各相磁动势均为有效匝数及其瞬时电流的乘积。交流电流的磁动势大小随时间而变，图中磁动势矢量（瞬时电流）的长短是任意画的。设磁动势波形是正弦分布的，当三相总磁动势与两相总磁动势相等时，两套绕组瞬时磁动势在 α 和 β 上的投影应相等，见式（3-1）和式(3-2)。

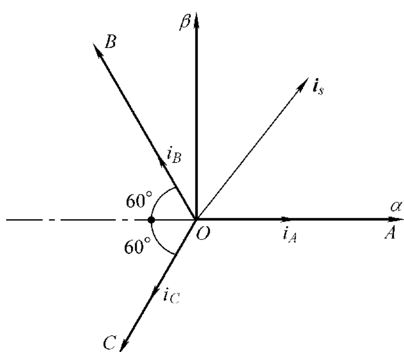


图 3-66　三相静止坐标系和两相静止坐标系的变换关系

$$N_2 i_\alpha = N_3 i_A - N_3 i_B \cos 60° - N_3 i_C \cos 60° = N_3\left(i_A - \frac{i_B}{2} - \frac{i_C}{2}\right) \tag{3-1}$$

$$N_2 i_\beta = N_3 i_B \sin 60° - N_3 i_C \sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2} N_3 (i_B - i_C) \tag{3-2}$$

为了便于求反变换，将变换阵表示为可逆的方阵。为此，在两相系统上人为地增加一相零轴磁动势 $N_2 i_0$，并定义为 $N_2 i_0 \triangleq K N_3 (i_A + i_B + i_C)$。从而将以上三式合在一起，写成矩阵形式

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{pmatrix} = \frac{N_3}{N_2}\begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ K & K & K \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} = \boldsymbol{C}_{3/2}\begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix}$$

其中

$$\boldsymbol{C}_{3/2} = \frac{N_3}{N_2}\begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ K & K & K \end{pmatrix}$$

是 $A-B-C$ 三相静止坐标系变换至 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系的变换阵（简称三相/两相变换阵)。

当满足功率不变条件时应有

$$\boldsymbol{C}_{3/2}^{-1} = \boldsymbol{C}_{3/2}^{T} = \frac{N_3}{N_2}\begin{pmatrix} 1 & 0 & K \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & K \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & K \end{pmatrix}$$

并且矩阵 $\boldsymbol{C}_{3/2}$ 与 $\boldsymbol{C}_{3/2}^{-1}$ 的乘积为单位阵，即

$$C_{3/2}C_{3/2}^{-1}=\left(\frac{N_3}{N_2}\right)^2\begin{pmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\\ K & K & K\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}1 & 0 & K\\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & K\\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & K\end{pmatrix}$$

$$=\left(\frac{N_3}{N_2}\right)^2\begin{pmatrix}\frac{3}{2} & 0 & 0\\ 0 & \frac{3}{2} & 0\\ 0 & 0 & 3K^2\end{pmatrix}=\frac{3}{2}\left(\frac{N_3}{N_2}\right)^2\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 2K^2\end{pmatrix}=E$$

因此$\frac{N_3}{N_2}=\sqrt{\frac{2}{3}}$且$K=\frac{1}{\sqrt{2}}$，于是得到了满足功率不变条件的参数关系。把$\frac{N_3}{N_2}$和$K$代入

$$C_{3/2}=\frac{N_3}{N_2}\begin{pmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\\ K & K & K\end{pmatrix}$$

即得三相/两相变换阵

$$C_{3/2}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}}\end{pmatrix}$$

反之，若要从$\alpha-\beta$两相静止坐标系变换至$A-B-C$三相静止坐标系（简称 2/3 变换），可求其反变换阵

$$C_{2/3}=C_{3/2}^{-1}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}}\\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}}\\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}}\end{pmatrix}$$

由于实际交流永磁同步电动机中并没有零轴电流i_0，因此实际电流变换式为

$$\begin{pmatrix}i_\alpha\\ i_\beta\end{pmatrix}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}i_A\\ i_B\\ i_C\end{pmatrix}$$

和

$$\begin{pmatrix}i_A\\ i_B\\ i_C\end{pmatrix}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}\\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}i_\alpha\\ i_\beta\end{pmatrix} \tag{3-3}$$

当交流永磁同步电动机的三相绕组为星形联结且没有零线时，有 $i_A + i_B + i_C = 0$ 。将其分别代入式（3-3）中，整理后得

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\dfrac{3}{2}} & 0 \\ \dfrac{1}{\sqrt{2}} & \sqrt{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \end{pmatrix}$$

和

$$\begin{pmatrix} i_A \\ i_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\dfrac{2}{3}} & 0 \\ \dfrac{1}{\sqrt{6}} & \dfrac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix}$$

2）两相静止坐标系与两相旋转坐标系之间的变换（简称2s/2r变换）：图3-67中 d 轴、q 轴和矢量 $\boldsymbol{i}_s$ 均以 ω_1 转速旋转，因此分量 i_d 和 i_q 的长短不变，相当于 d 、q 绕组的直流磁动势。但因 α 轴和 β 轴是静止的，且 α 轴与 d 轴的夹角 θ 随时间变化而改变，故矢量 $\boldsymbol{i}_s$ 在 α 轴和 β 轴上的分量 i_α 和 i_β 的长短也将随时间变化而变化，相当于 α 、β 绕组交流磁动势的瞬时值。同时，四个分量 i_d 、i_q 、i_α 和 i_β 之间存在着 $i_\alpha = i_d\cos\theta - i_q\sin\theta$ 和 $i_\beta = i_d\sin\theta + i_q\cos\theta$ 的关系，将其写成矩阵形式为

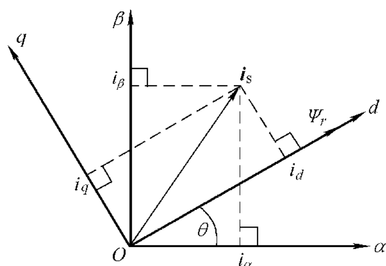


图3-67 两相静止坐标系和两相旋转坐标系的变换关系

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \boldsymbol{C}_{2r/2s} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix}$$

其中

$$\boldsymbol{C}_{2r/2s} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \tag{3-4}$$

是 $d-q$ 两相旋转坐标系变换至 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系的变换阵。

将

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \boldsymbol{C}_{2r/2s} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix}$$

两边都乘以变换阵的逆矩阵，即

得

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix}$$

因此 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系变换至 $d-q$ 两相旋转坐标系的变换阵为

$$\boldsymbol{C}_{2s/2r} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

且电压和磁链的旋转变换阵与电流（磁动势）的旋转变换阵相同。

3）三相静止坐标系到任意两相旋转坐标系上的变换（简称3s/2r变换）：若要从 $A-B-C$ 三相静止坐标系变换至任意转速的 $d-q$ 两相旋转坐标系（为凑成方阵而在两相系统上人为地假想一根零轴），可利用前面导出的变换阵，先将 $A-B-C$ 三相静止坐标系变换至 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系（取 α 轴与 A 轴一致），然后再从 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系变换至 $d-q$ 两相旋转坐标系。后者可采用变换式 $\boldsymbol{C}_{2r/2s}$ ，令 d 轴与 α 轴的夹角为 θ ，由式（3-4）可得到

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{pmatrix}$$

又有前面导出的在满足功率不变条件下 $A-B-C$ 三相静止坐标系变换至 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系时的矩阵

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{pmatrix} = \boldsymbol{C}_{3/2} \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix}$$

合并这两个矩阵可得到自 $A-B-C$ 三相静止坐标系变换至 $d-q$ 两相旋转坐标系的变换式 $C_{3s/2r}$ 为

$$\boldsymbol{C}_{3s/2r} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & \cos(\theta-120^\circ) & \cos(\theta+120^\circ) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta-120^\circ) & -\sin(\theta+120^\circ) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

其反变换式 $\boldsymbol{C}_{2r/3s}$ 为

$$\boldsymbol{C}_{2r/3s} = \boldsymbol{C}_{3s/2r} = \boldsymbol{C}_{3s/2r} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta-120^\circ) & -\sin(\theta-120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta+120^\circ) & -\sin(\theta+120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

注意：$\boldsymbol{C}_{3s/2r}$ 和 $\boldsymbol{C}_{2r/3s}$ 同样适用于电压和磁链的变换。

（5）永磁同步电动机数学模型的建立

1）为了便于分析永磁同步电动机的稳态运行性能和瞬态性能，在建立数学模型之前预先做四点假设：一是忽略电动机铁心饱和，二是不计电动机中涡流和磁滞损耗，三是定子和转子磁动势所产生的磁场沿定子内圆按正弦规律分布（即忽略磁场中所有的空间谐波），四是各相绕组对称（即各相绕组的匝数与电阻相同）且各相轴线相互位移同样的电角度。

2）由前面导出的

$$\begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} = \boldsymbol{C}_{2r/3s} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta-120^\circ) & -\sin(\theta-120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta+120^\circ) & -\sin(\theta+120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix}$$

变换关系，可将转子两相旋转坐标系中的量（电流，电压和磁链）变换至定子三相静止坐标系中，并得到 A 相瞬时电流的表达式 $i_A = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(i_d\cos\theta - i_q\sin\theta + \frac{i_0}{\sqrt{2}}\right)$，外加电压的表达式 $u_A =$

$\sqrt{\frac{2}{3}}\left(u_d\cos\theta - u_q\sin\theta + \frac{u_0}{\sqrt{2}}\right)$和磁链的表达式 $\psi_A = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(\psi_d\cos\theta - \psi_q\sin\theta + \frac{\psi_0}{\sqrt{2}}\right)$。又基于"定子绕组的感应电动势可看作为反电动势 $e = \frac{d\psi}{dt}$，且定子外加电压 u 与反电动势 e 及定子电阻压降 iR 相平衡"的原理，可得到 A 相电压平衡方程式 $\frac{d\psi_A}{dt} + i_AR = u_A$。把 i_A 、u_A 和 ψ_A 的表达式代入 A 相电压平衡方程式中，可得

$$\frac{d\psi_d}{dt}\cos\theta - \psi_d\sin\theta\frac{d\theta}{dt} - \frac{d\psi_q}{dt}\sin\theta - \psi_q\cos\theta\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{d\psi_0}{dt} + Ri_d\cos\theta - Ri_q\sin\theta + \frac{R}{\sqrt{2}}i_0 - u_d\cos\theta + u_q\sin\theta - \frac{1}{\sqrt{2}}u_0 = 0$$

接着对代入 i_A 、u_A 和 ψ_A 后的 A 相电压平衡方程式进行整理，可得 θ 为任意值时均成立的方程式 $\left(\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q\frac{d\theta}{dt} + Ri_d - u_d\right)\cos\theta + \left(-\frac{d\psi_q}{dt} - \psi_d\frac{d\theta}{dt} - Ri_q + u_q\right)\sin\theta + \frac{\left(\frac{d\psi_0}{dt} + Ri_0 - u_0\right)}{\sqrt{2}} = 0$ 由此便得到定子电压方程式 $u_d = \frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q\frac{d\theta}{dt} + Ri_d$，$u_q = \frac{d\psi_q}{dt} + \psi_d\frac{d\theta}{dt} + Ri_q$ 和 $u_0 = \frac{d\psi_0}{dt} + Ri_0$，其中 $\psi_d = L_di_d + \psi_r$，$\psi_q = L_qi_q$。另外，电动机的电磁转矩可根据方程式 $T_{em} = P_n(\psi_di_q - \psi_qi_d)$ 求得。

3）综合上述分析过程，便可得到具有凸极效应（交轴电感 L_q 大于直轴电感 L_d）的嵌入式和内埋式交流永磁同步电动机在 $d-q$ 两相同步旋转坐标系下的数学模型，见表3-6。

表3-6 交流永磁同步电动机在 $d-q$ 两相同步旋转坐标系下的数学模型

序号	方程式名称	表达式	参数含义
1	定子电压方程式	$U_d = P\psi_d - \psi_q\omega_r + Ri_d$	U_d、U_q：d 轴和 q 轴的电压 i_d、i_q：d 轴和 q 轴的电流 L_d、L_q：d 轴和 q 轴的电感 ψ_d、ψ_q：d 轴和 q 轴的磁链 R：定子相电阻 ω_r：转子电角速度 ψ_r：永磁体基波励磁磁场链过定子绕组的磁链 P：微分算子 P_n：转子极对数 T_L：负载转矩 T_{em}：电磁转矩 B：黏滞摩擦系数 J：转子和所带负载的总转动惯量
		$U_q = P\psi_q + \psi_d\omega_r + Ri_q$	
2	定子磁链方程式	$\psi_d = L_di_d + \psi_r$	
		$\psi_q = L_qi_q$	
3	电磁转矩方程式	$T_{em} = P_n(i_q\psi_d - i_d\psi_q) = P_n[\psi_ri_q + (L_d - L_q)i_di_q]$	
4	电动机运动方程式	$T_{em} = T_L + B\left(\frac{\psi_r}{P_n}\right) + JP\left(\frac{\omega_r}{P_n}\right)$	

注：表面式/隐极式永磁同步电动机的交直轴电感基本相同，即 $L_q = L_d$。

在表3-6的电磁转矩方程式中，可看出永磁同步电动机的电磁转矩 T_{em} 基本上是由定子交轴电流分量（即转矩电流分量）i_q 和转子磁链 ψ_r 来决定的；但由于永磁同步电动机中转子磁链 ψ_r 恒定不变，故几乎所有的永磁同步电动机都采用转子磁链定向方式来控制电磁转矩以获取良好的动态特性。

（6）永磁同步电动机矢量控制的实施方案　在同步电动机中励磁磁场与电枢磁动势间的空间角度 θ 不是固定的，它随负载变化而改变，特别是在动态情况下 θ 角的随时变化将会引起磁场间十分复杂的作用关系，从而不能简单地通过调节定子交轴电流分量来控制电磁转矩。为此，通过外部条件（驱动系统）对定子磁动势相对励磁磁动势的空间角度实施定向控制进而直接控制 θ 角（即角度控制），同时对定子电流幅值进行独立地直接控制以将永磁同步电动机模拟为他励直流电动机；其实质是基于磁场定向策略前提下对定子电流空间矢量相位和幅值的控制，即所谓的“矢量控制”。

虽然永磁同步电动机的矢量控制与异步电动机和电励磁同步电动机一样，均是一种基于磁场定向的控制策略，但因永磁同步电动机中转子永磁体所提供的磁场恒定以及结构和参数各异，而使得控制方法与其他电动机有所不同。永磁同步电动机按磁链定向控制可分为转子磁链定向控制、定子磁链定向控制、气隙磁链定向控制和阻尼磁链定向控制四种方案。根据 β 角（定子电流 i_s 相对 ψ_r 的空间角度）的控制范围，其矢量控制又有 $\beta = 90°$、$90° < \beta < 180°$ 和 $0 < \beta < 90°$ 三种方式。

1）$\beta = 90°$ 方式：$i_d = 0$（即磁场定向）且 $i_q = i_s$，由此转矩方程式变为 $T_{em} = P_n\psi_r i_q$。因极对数 P_n 和转子磁链 ψ_r 恒定不变，故电磁转矩 T_{em} 仅由定子交轴电流分量 i_q 控制（T_{em} 与 i_q 成正比），从而实现了转矩方程式中直轴励磁电流分量 i_d 和交轴转矩电流分量 i_q 的解耦，最终达到矢量控制目的。因 $i_d = 0$ 时定子电枢电流对转子励磁磁场既无助磁作用也无去磁作用（定子绕组产生的电磁场始终正交于转子永磁场），故此时每安培电流所产生的电动机转矩值最大且电动机损耗最小而使得电动机处于很有吸引力的运行状态，这正是在高性能伺服系统中 30kW 左右及以下的永磁同步电动机几乎都采用磁场定向控制的原因之所在。

要对永磁同步电动机实施 $i_d = 0$ 磁场定向控制方案，唯有通过增量式编码器等位置检测装置实时准确地检测出电动机转子的空间位置（d 轴），才能使电动机定子绕组的合成电流（磁动势）矢量位于 q 轴上且正交于 d 轴，从而使电动机获得最佳出力效果，其外在表现就是交流永磁同步电动机的“相电流”波形始终与“相反电势”波形保持一致。

2）$90° < \beta < 180°$ 方式：$i_d = i_s \sin\beta < 0$ 且 $i_q = i_s \cos\beta > 0$，由此定子电枢电流存在对转子励磁磁场具有去磁作用的直轴励磁电流分量 i_d。当电动机在驱动系统的控制下处于恒转矩运行区时，控制 β 角处于 $90° < \beta < 180°$ 范围内，即可实现弱磁升速控制。

3）$0 < \beta < 90°$ 方式：$i_d = i_s \sin\beta > 0$ 且 $i_q = i_s \cos\beta > 0$，由此定子电枢电流存在对转子励磁磁场具有助磁作用的直轴励磁电流分量 i_d。当电动机在驱动系统的控制下处于恒功率运行区时，控制 β 角处于 $0 < \beta < 90°$ 范围内，即可在一定程度上提高输出转矩。

3.2.3 交流永磁同步电动机常见故障与排除

1FT6/1FT7/1FK7 等系列的交流永磁同步电动机不存在电刷维护问题，所以被称为免维护电动机；但这并不是说该类型电动机绝对不出故障。交流永磁同步电动机在使用过程中，常因接线故障（如动力电缆/信号反馈电缆的连接插座脱焊、座内连接针弯曲/折断或密封不良以及端子接线松开等）、转子位置检测装置（霍尔开关或光电编码器等）不良或损坏、垂直轴电磁制动未释放（用于防止系统或伺服断电、报警时伺服电动机在自由状态的情况下而下滑）或制动线圈烧毁、伺服轴的使能条件未满足等故障，致其不能转动或发热严重等而影响机床伺服轴的正常运行。因此，维修人员有必要了解和掌握交流永磁同步电动机的常见故障和处理方法，以快速排除故障使数控机床恢复运转。

1. 1FT6/1FT7/1FK7 同步电动机常见故障与排除

1FT6/1FT7/1FK7 同步电动机系列永磁同步电动机的常见故障及处理方法见表3-7。

表3-7　1FT6/1FT7/1FK7 系列永磁同步电动机的常见故障及处理方法

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	电动机无法起动	1）过载（如电动机功率太小、工件超重、进给传动链因润滑或自身状态不良而阻力过大等）	减少负载（更换大功率的伺服电动机、选择与工件适合的数控机床、改善进给传动链的润滑条件或更换损坏的零部件）
		2）电源电缆或电动机绕组中的一相断路	检查驱动系统和供电电缆的连接，确定电动机绕组电阻和绝缘电阻；必要时更换同规格的动力连接电缆或伺服电动机等
2	电动机加速缓慢	1）过载（如电动机功率太小、工件超重、进给传动链因润滑或自身状态不良而阻力过大等）	减少负载（更换大功率的伺服电动机、选择与工件适合的数控机床、改善进给传动链的润滑条件或更换损坏的零部件）
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆及检测绕组的电阻
		3）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
3	起动时发出异常噪声	1）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆及检测绕组的电阻
		2）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
4	运行时发出异常噪声	1）过载（如电动机功率太小、工件超重、进给传动链因润滑或自身状态不良而阻力过大等）	减少负载（更换大功率的伺服电动机、选择与工件适合的数控机床、改善进给传动链的润滑条件或更换损坏的零部件）
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆及检测绕组的电阻
		3）定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
5	空运行时出现过热异常	1）驱动模块输出的电压过高或频率过低	检查驱动系统的设置，执行自动电动机识别
		2）堆积物阻碍了电动机热量的扩散	清除驱动表面的堆积物使冷却风可自由进入/排出
		3）空气冷却式电动机的外部风扇单元不工作或异物堵住了冷却风的入口/出口	检查外部风扇单元的电力供应使其正常；或更换损坏的外部风扇单元；或清除阻碍物使冷却风可自由进入/排出
		4）液体冷却式电动机的冷却液流量过小或不供应；入口处的冷却液温度过高或热交换装置不工作	调节冷却液流量控制阀以增大冷却液的供应；检查冷却泵电动机是否工作、控制阀是否打开及管路是否被堵塞等；使热交换装置正常工作以控制冷却液温度在20～30℃
6	带负载运行时出现过热异常	1）过载（如电动机功率太小、工件超重、进给传动链因润滑或自身状态不良而阻力过大等）	减少负载（更换大功率的伺服电动机、选择与工件适合的数控机床、改善进给传动链的润滑条件或更换损坏的零部件）
		2）起动后电源的一相断路	检查驱动系统和供电电缆及检测绕组的电阻
		3）堆积物阻碍了电动机热量的扩散	清除驱动表面的堆积物使冷却风可自由进入/排出

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
6	带负载运行时出现过热异常	4）空气冷却式电动机的外部风扇单元不工作或异物堵住了冷却风的入口/出口	检查外部风扇单元的电力供应使其正常；或更换损坏的外部风扇单元；或清除阻碍物使冷却风可自由进入/排出
		5）液体冷却式电动机的冷却液流量过小或不供应，冷却系统的热交换装置不工作	调节冷却液流量控制阀以增大冷却液的供应；检查冷却泵电动机是否工作、控制阀是否打开及管路是否被堵塞等；使热交换装置正常工作以控制冷却液温度在 20～30℃
7	单个绕组部分出现过热	定子绕组中绕组短路或相间短路	测量绕组电阻和绝缘电阻，并进行修理
8	运行不平稳	1）电动机动力电缆或编码器信号电缆屏蔽不够充分	检查动力电缆/信号电缆的屏蔽层和接地
		2）驱动模块的伺服增益过大致运行时抖动	适当减小伺服增益
9	刺耳的摩擦声、运行噪声	1）进给传动链中（含电动机）存在过度磨损	更换磨损严重的零部件（如电动机支承轴承、滚珠丝杠螺母副、传动齿轮副或带轮等）
		2）电动机内存在异物	需请专业维修人员拆卸电动机将异物取出
10	径向振动	1）转子不平衡	拆卸转子并重新调整平衡
		2）转子位置不正确或电动机心轴弯曲	调整转子位置或更换弯曲的电动机心轴
		3）校准不够	校准电动机单元，检查联轴器
		4）与电动机相连的设备不平衡或振动	重新连接联轴器、紧固电动机底座或齿轮传动装置等，校准伺服轴的径向跳动量，合理调整传动装置的间隙量
11	轴向振动	1）校准不够	校准电动机单元，检查联轴器
		2）与电动机相连的设备不平衡或振动	重新连接联轴器、紧固电动机底座或齿轮传动装置等，校准伺服轴的轴向窜动量，合理调整传动装置的间隙量

2. 交流永磁同步电动机故障排除的望闻问切

作为一名优秀的数控维修人员，除了熟悉数控机床（如 SINUMERIK 系统、FANUC 系统等）的工作原理和具备一定的操作技能外，还应掌握并灵活应用诸如系统自诊断、直观检查法（望闻问切）、数据和状态检查、状态指示灯和报警信息分析法、备板置换（替代）法、交换（同类对调）法、敲击法、升温法、功能程序测试法、隔离法、测量比较法和强迫闭合法等故障诊断分析方法，以迅速查明故障原因并排除，从而在最短时间内恢复数控机床的正常运转。下面以直观检查法（望闻问切）为例向读者介绍交流永磁同步电动机故障的排除过程。

1）望（看）交流永磁同步电动机的外部状态或运行时的表象。

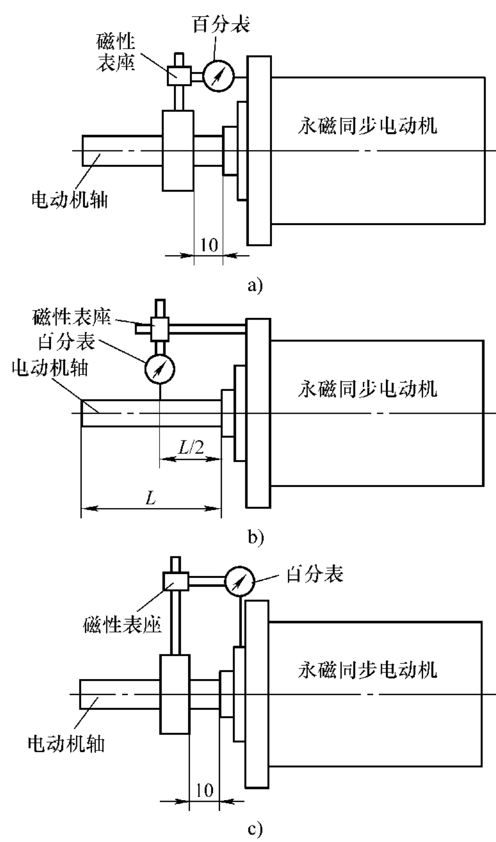
① 检查电动机是否受到碰撞等机械损伤，尤其是电动机尾部的编码器应防止其因碰撞或冲击等产生不良或损坏而导致电动机转子的空间位置无法检测。

② 若电动机的定子绕组短路，位于各进给轴输入端的伺服电动机在不加装外界防护罩而直接呈裸露状态的前提下，操作者或维修人员会发现电动机出现冒烟现象。定子绕组短路的原因可

能为电动机的密封装置破损使得切削液或润滑油等浸入电动机内部而导致电动机绝缘性能下降或定子绕组短路。还有当伺服电动机安装在齿轮箱上时，齿轮箱内润滑油的油面必须低于电动机输出轴的高度，以防止润滑油沿输出轴渗入电动机内部。

③ 若电动机功率过低、工件超重或进给传动链的润滑/自身状态不良以及来自功率模块或电动机模块的动力电源缺相，则会使伺服电动机严重过载而致其转速变慢及运行时伴有较沉重的“嗡嗡”声。此时可重新根据机床的加工状况和相关参数来重新选配功率合适的伺服电动机，将超重工件转移至符合要求的数控机床上进行加工，通过检修润滑管路和疏通堵塞之处来改善进给传动链的润滑状况，通过更换进给传动链中磨损严重或损坏的零部件以确保进给传动精度，用万用表检测功率模块或电动机模块的动力接线端子 U2、V2、W2 并对存在缺相故障的模块或有断路的动力电缆进行更换等。

④ 若联轴器松动则运行中的伺服电动机可能会出现轴向振动和工作台进给停止，如电动机底座连接螺栓或进给传动装置松动则伺服电动机会剧烈振动并伴随工作台运行不平稳。此时应紧固联轴器、电动机底座连接螺栓及进给传动装置等，确保伺服电动机的轴向窜动量和径向跳动量（见图 3-68）。



电动机轴相对于法兰面(即相对于安装法兰的定心直径)的轴向窜动量及同轴度的公差

轴高度/mm	永磁同步电动机	允许公差/mm
20	1FK701	0.06
28	1FK702	0.08
36,48	1FK703/1FK704	0.08
	1FT7 系列	
63,80,100	1FK706/1FK708/1FK710	0.10
	1FT7 系列	

电动机轴相对于机壳中心轴线的径向跳动量公差

轴高度/mm	永磁同步电动机	允许公差/mm
20	1FK701	0.03
28	1FK702	0.03
36	1FK703	0.035
	1FT7 系列	
48,63	1FK704/1FK706	0.04
	1FT7 系列	
80,100	1FK708/1FK710	0.05
	1FT7 系列	

图 3-68　1FT7/1FK7 系列永磁同步电动机轴向窜动量和径向跳动量及同轴度的检测
a）轴向窜动量的测量　b）径向跳动量的测量　c）同轴度的测量

⑤ 若电动机内的接触点和连接处有变色、烧痕和烟迹等，则说明伺服电动机可能存在局部过热、导体连接处接触不良或绕组烧毁等问题。此时应检查电动机冷却装置的工作情况（如自

然风冷型电动机的四周堆满杂物，强制风冷型电动机的外部风扇单元不工作或风向相反，水冷型电动机的冷却水温度过高或供应不正常等)，重新紧固导体的连接端子，更换同规格的伺服电动机并对绕组烧毁的电动机进行专业性维修。

⑥ 若机床辅助电路中接触器的线圈通电后衔铁不吸时，要区分电路断路还是接触器的机械部分卡死：此时可按下启动按钮，若按钮常开触点由闭合→断开时有火花则电路通路，故障位于接触器的机械部分；若触点间无火花则电路断路。

⑦ 当利用逐步接入法检查电路短路和接地故障时，可换上新熔断器并将各支路一条一条的接入电源而进行重新试验。在接到某条支路时熔断器又熔断，则故障位于该条电路及所包含的电器元件上。

2）闻交流永磁同步电动机的气味及听其运行时所发出的声音，来预防和判定故障。

① 在处理电气故障时，维修人员应着重关注密闭空间内被击穿或烧毁的电气元件所散发出的异常气味，有时可非常快速地找到故障的发生源。若闻到伺服电动机有特殊的油漆味，则说明电动机内部的温度过高；若发现有很重的煳味或焦臭味，则可能是电动机内的绝缘层被击穿或绕组被烧毁。

② 伺服电动机正常运行时应发出均匀且较轻的“嗡嗡”声，无杂音和其他特别的声音。若听到伺服电动机发出较大的噪声——如电磁噪声（忽高忽低且沉重的声音）、轴承杂音、通风噪声或机械摩擦声等，则可能是故障的先兆或故障的直接表现。

a. 伺服电动机发出电磁噪声：若电动机轴支承轴承磨损严重使得定子与转子不同心进而导致定子与转子间的气隙不均匀，则出现忽高忽低且高低音间隔时间不变的电磁噪声；若电动机三相绕组存在误接地、短路或接触不良而使得电动机侧的三相电流不平衡，则出现很沉闷的电磁噪声并表明电动机处于严重过载或缺相运行状态。

b. 将耳朵靠近伺服电动机的驱动侧时听到轴承运转有杂音（正常时为连续而细小的“沙沙”声且不存在忽高忽低的变化及金属摩擦声)：若轴承运转时发出“吱吱”声（即金属摩擦声)，则表明电动机内支承轴承润滑不良或失效；若轴承运转时发出“唧哩”声（即滚珠转动时发出的声音)，则表明支承轴承的润滑脂干涸或缺油；若轴承运转时发出“喀喀”声或“嘎吱”声（即滚珠不规则运动产生的声音)，则表明支承轴承的滚珠因梨皮状点蚀或磨损变得不圆整甚至破碎而损坏，也可能是机床长时间闲置不用致支承轴承的润滑脂干涸。

c. 进给传动链发出连续而非忽高忽低的声音：皮带接头不平滑而产生周期性“啪啪”声，联轴器或带轮与电动机轴的连接松动及键或键槽磨损而产生周期性“咚咚”声，强制风冷型电动机因风叶碰撞风扇罩而产生不均匀的碰撞声等。

③ 若伺服电动机通电后不转但存在嗡嗡声，则可能的原因有：

a. 电源电缆或电动机绕组中的一相断路。

b. 电动机功率过低、工件超重或进给传动链的润滑/自身状态不良。

c. 来自功率模块或电动机模块的动力电源缺相或动力接线端子连接松动呈假接状态。

此时应采取相对应的解决措施：

a. 检查驱动系统和供电电缆的连接以查找断点，确定电动机绕组的电阻和绝缘电阻，必要时更换同规格的动力连接电缆或伺服电动机等。

b. 重新根据机床的加工状况和相关参数来选配功率合适的伺服电动机，将超重工件转移至符合要求的数控机床上进行加工；通过检修润滑管路和疏通堵塞之处来改善进给传动链的润滑状况；通过更换进给传动链中磨损严重或损坏的零部件以确保进给传动精度。

c. 用万用表检测功率模块或电动机模块的动力接线端子 U2、V2、W2，并对存在缺相故障的模块进行更换，或紧固松动的动力接线端子以消除假接。

④ 伺服变压器/整流电抗器等因铁心松动或锈蚀等而使铁片振动发出“吱吱”声。

⑤ 若发生故障的交流永磁同步电动机装有抱闸制动器，应先通过1FT6/1FT7/1FK7系列同步电动机上功率铭牌中订货号MLFB第15个位置上的字母（B、E、H或L）来确定该电动机装有额定电压为DC24V（1±10%）的抱闸制动器以用于固定停止运转的电动机轴。然后结合机床附带的电气图样在SINUMERIK系统屏幕的PLC状态显示画面，查看与抱闸制动器线圈相关的输入输出信号是否正常（如输出信号为1时线圈的DC24V接通而使得抱闸制动器释放）。

3）维修人员应按照先询问再动手的要求，向操作者询问故障的全过程、了解故障现象及采取的措施等。如机床发生故障时处于何种操作方式（AUTO/MDA/JOG/REF等），SINUMERIK系统屏幕是否有报警呈现及详细的报警内容，进给传动链的运行状况（异常噪声与振荡/抖动等），被加工件的尺寸精度及加工质量的均匀一致性，以前是否出现过类似故障，等等。切记：未彻底弄清楚故障的表现和未掌握故障的机理，仅凭主观臆断就快速给出机床故障的可能原因和没有把握的解决方案，对机床的故障部位进行盲目拆卸将会使故障进一步扩大或带来难以恢复的新故障。

4）维修人员可通过用手背碰触电动机外壳和轴承周围部分来切（摸，即感知）过流、过载或超温引起的发热或振动等，以快速判定机床的故障原因。如气动、液压或冷却系统的管路阻塞或泵卡死及其他机械故障而引起的过载超温（电流过大致定子绕组过热），严重时线圈烧损并伴有焦煳味；机床运行中因元件漏电/过流、动力供应缺相（两相运行）或机械过载等引起的异常温升和气味；电动机支承轴承或进给传动链中的轴承因保持架破碎、滚珠/滚子磨损不圆或缺少润滑等导致轴承运转受阻滞，而引发电动机或其他机械元件骤然升温发热。

3.3　位置检测装置及故障

位置检测装置与数控装置（NC和PLC）一样，属于现代数控机床的关键部件，是保证数控机床实现精确定位和高精度加工的前提条件。位置检测装置是闭环（半闭环、闭环或混合闭环）伺服装置中重要的组成部分，它利用光或磁的原理检测机床工作台的位移、伺服电动机转子的角位移和速度，并将信号反馈至SIMODRIVE或SINAMICS等驱动系统，与数控装置预先给定的理论值相比较后，由计算的差值实现位置闭环控制和速度闭环控制。位置检测装置的测量精度一般用分辨率来衡量。分辨率是检测元件所能正确检测的最小数量单位，它由检测元件本身的品质及测量电路决定。在CNC位置检测接口电路中常对反馈信号进行倍频处理，以进一步提高测量精度。位置检测装置也可以用于速度的测量。位置检测和速度检测可采用各自独立的检测元件，如速度检测采用测速电动机，位置检测采用光电编码器；也可共用一个检测元件，如均为光电编码器。

3.3.1　位置检测装置的分类

（1）直接测量和间接测量　根据机床的运动方式，可将位置检测装置分为直线型和回转型。若检测元件所测量的指标就是所要求的参数指标，即直线型检测元件测量直线位移、回转型检测元件测量角位移，则该测量方式为直接测量。典型的直接测量装置有光栅、编码器等。若回转型检测元件测量的角位移仅是中间量，由它再推算出与之对应的工作台直线位移，那么该测量方式为间接测量，其测量精度取决于检测元件和机床传动链两者的精度。典型的间接测量装置有码盘和旋转变压器（见图3-69）。

（2）增量式测量、绝对式测量和混合式测量　按测量装置的编码方式，可将位置检测装置分为增量式测量、绝对式测量和混合式测量三种。增量式测量的特点是只测量位移增量，即工作

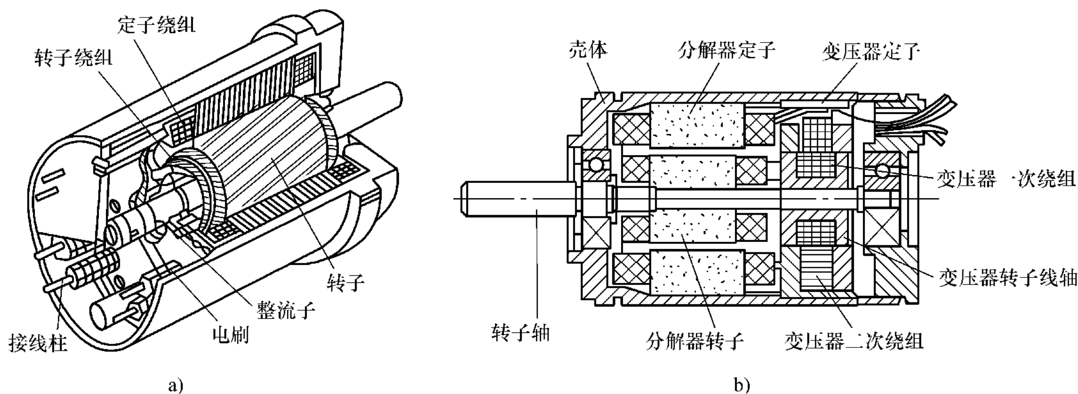


图 3-69　旋转变压器的结构图

a）有刷结构　b）无刷结构

台每移动一个基本长度单位，检测元件便发出一个测量信号，此信号通常是脉冲形式。典型的增量式检测元件为光栅和增量式光电编码器（见图 3-70a）。绝对式测量的特点是被测的任一点的位置均由一个固定的零点算起，每一个测量点都有一个对应的测量值，常以数据形式表示。典型的绝对式检测元件为绝对式光电编码器（见图 3-70b）。混合式测量的特点是用光信号扫描与转动轴相连的分度盘，通过检测和统计光信号的通断数量来计算旋转角度，并输出两组信息——一组是以通信方式传递的具有唯一性的绝对旋转角度编码，另一组是完全与增量式编码器输出信息相同的相对旋转角度编码。典型的混合式检测元件为带数据通道的正余弦编码器。

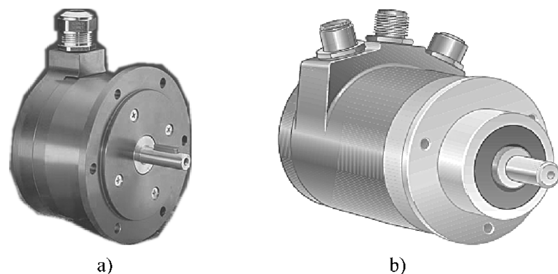


图 3-70　瑞典 LEINE&LINDE（莱纳林德）的编码器

a）850 型增量式光电编码器　b）RSA608 型绝对式光电编码器

（3）接触式测量和非接触式测量　接触式测量的检测元件与被测对象间存在着机械联系，因此机床本身的变形、振动等因素会对测量产生一定的影响。典型的接触式检测元件为光栅。非接触式测量的检测元件与被测对象是分离的，不发生机械联系（通过光或磁联系）。典型的非接触式检测元件有双频激光干涉仪（如德国 Jenaer 公司生产的 ZLM700/800/900 型双拼激光干涉仪）和光电式编码器。

（4）数字式测量和模拟式测量　数字式测量是以量化后的数字形式表示被测的量，其特点是检测元件简单、信号抗干扰能力强且便于显示处理。典型的数字式检测元件为增量式/绝对式光电编码器和光栅。模拟式测量是被测的量用连续的变量表示（如电压或相位的变化），典型的模拟式检测元件为旋转变压器等。

（5）内装型和分离型　按连接形式的不同可分为伺服电动机内装编码器检测装置和分离型检测装置。其中内装型编码器检测装置有增量式光电编码器和绝对式光电编码器，可用于半闭环伺服系统的控制；分离型检测装置的典型代表为光栅尺，可用于全闭环伺服系统的控制。

综上所述，数控机床所使用的位置检测装置包括光电编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅、磁栅尺等十余种。本书将着重介绍最常用的增量式光电编码器、绝对式光电编码器和光栅尺 3 种检测元件（见图 3-71）。



图3-71　西门子伺服电动机常用的位置检测装置（海德汉）

a）ERN/ECN/EQN1300系列旋转编码器　b）ERO1300系列旋转编码器

c）基于磁检测原理的ERM200系列旋转编码器　d）封闭式直线光栅尺

e）敞开式直线光线尺

3.3.2　位置检测装置的控制原理

1. 增量式光电编码器的控制原理

（1）组成结构　如图3-72所示，增量式光电编码器由光源5（白炽灯、硅光电池或发光二极管等）、透镜6、光电码盘4（玻璃码盘、金属码盘和塑料码盘三种，因玻璃码盘的热稳定性较其他两种要好且精度高而使其应用最广）、光栏板7、光敏元件8和信号处理电路等组成。当光电码盘4随工作轴1一起转动时，光源5通过透镜6，透过光电码盘4和光栏板7形成忽明忽暗的光信号，光敏元件8把此光信号转换成近似于正弦波的电信号，然后通过信号处理电路的整形、放大、分频、计数和译码后，以正弦波（电流或电压）或矩形波（TTL或HTL）的形式既可直接输出至FANUC系列的CNC系统又可经由SIMODRIVE 611或SINAMICS S120间接传递至SINUMERIK系统。因增量式光电编码器每转过1个分辨角α（它与码盘圆周内所分狭缝的条数有关且$\alpha=360°/$狭缝条数）就发出1个脉冲信号，故依据脉冲数目可得出工作轴的回转角度并由传动比换算出直线位移的距离，同时根据脉冲频率可算出工作轴的转速。目前，增量式光电编码器因其可进行无限累加测量而在测速应用方面占据着无可替代的主流位置。

1）旋转方向的判定：为了测量码盘的转动方向，光栏板7的两个狭缝距离应为$m\pm\tau/4$（τ为码盘两个狭缝之间的距离即节距，m为任意整数），如此光敏元件所产生的两组输出电信号A和B便相差$\pi/2$相位（见图3-73）。将输出电信号A和B送入鉴相回路后，通过比较A相在前

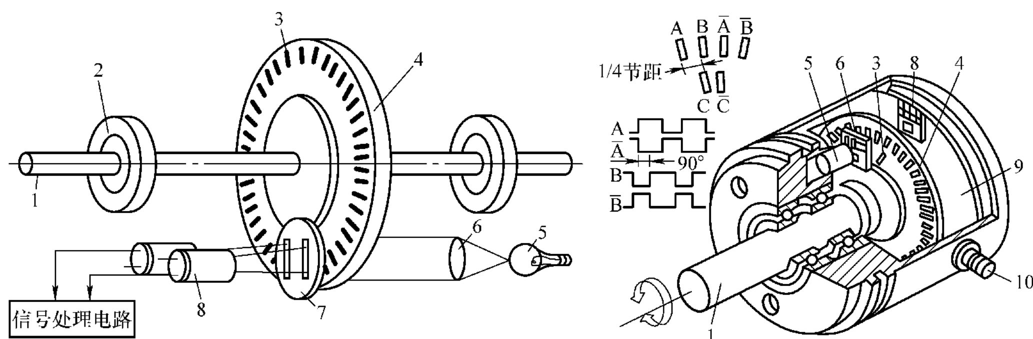


图 3-72 增量式光电编码器的控制原理

1—工作轴 2—滚动轴承 3—透光狭缝 4—光电码盘 5—光源

6—透镜 7—光栏板 8—光敏元件 9—编码器壳 10—反馈电缆

还是 B 相在前既可判断出码盘的旋转方向，进而得出对应伺服电动机的旋转方向（A 相超前于 B 相时正向旋转，B 相超前于 A 相时反向旋转）。

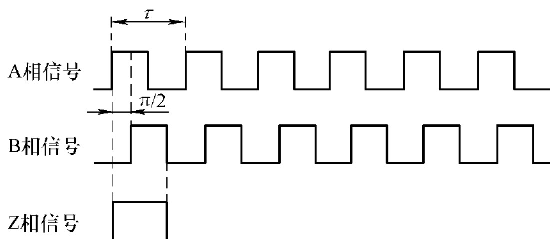


图 3-73 增量式光电编码器的输出信号波形

2）零位脉冲的产生：若在光电码盘和光栏板的内圈上各增加 1 条透光狭缝并增加 1 个光敏元件，则增量式光电编码器每转过一圈将会产生一个用于零位参考的脉冲信号，即零位脉冲（也称 Z 相脉冲，见图 3-73）。该脉冲信号在数控机床的进给轴电动机和主轴电动机上分别是用来精确确定机床基准点（机械参考点）及进行主轴准停和螺纹加工的。

（2）基本技术规格 与增量式光电编码器相关的主要技术参数有分辨率、精度、输出信号的稳定性、响应频率及信号输出形式。

1）分辨率：以编码器的工作轴转动一周所产生的输出信号基本周期数来表示分辨率或分辨角 α，即每转的脉冲数（S/R）。它与码盘圆周内所分狭缝的条数有关，计算公式为 $\alpha = 360°/$狭缝条数，也就是说光电码盘上所刻狭缝条数越多，增量式光电编码器的分辨率越高；因此分辨率决定了编码器的测量精度。伺服电动机常用增量式光电编码器的规格有 2 000S/R、2 500S/R、3 000S/R、1 024S/R、2 048S/R 等，甚至高达为 20 000S/R、25 000S/R 和 30 000S/R 等。

2）精度：增量式光电编码器的精度与分辨率是两个具有不同概念而又完全无关的技术参数。其中精度是用来度量在所选定的分辨率范围内确定任一脉冲相对于另一脉冲位置的能力，常用角度、角分或角秒来表示，它不仅与光电码盘上所刻狭缝的加工质量有关，还与光电码盘的机械旋转制造精度有关。

3）输出信号的稳定性：它是指编码器在实际运行条件下保持规定精度的一种能力，影响这种能力的主要因素包括温度对电子元器件造成的漂移和外界施加于编码器的变形力以及光源特性的变化等。

4）响应频率f：它取决于编码器所选用的光敏元件和信号处理电路的响应速度，最大响应频率$f_{max}=\dfrac{\alpha\times R_{max}}{60}$（$R_{max}$为编码器的最高转速）。虽然编码器的分辨率越高其输出信号的响应频率越大，但光敏元件和信号处理电路的工作速度不能与之相适应时将导致输出波形严重畸变，甚至出现脉冲丢失的现象。

5）输出信号的波形：绝大多数情况下自光敏元件直接获取的脉冲信号电平较低且波形不规则，不能适用于控制和信号处理及远距离传输的要求。因此在编码器内还需通过信号处理电路的整形、放大、分频、计数和译码处理，将光敏元件获取的脉冲信号转化为正弦波（11μApp 的电流输出或 1Vpp 的电压输出，pp 为峰峰值）或矩形波（5V ±0. 25V 的晶体管逻辑或 10 ~24V 的高压晶体管逻辑）的形式后进行输出。其中正弦波输出信号可消除定位停止时的振荡现象，且易通过电子内插方法进行细分而获得更高的分辨率和动态特性，如海德汉公司的 ERN1381/ERN1387 型 sin/cos 1Vpp 增量式编码器（见图 3-74）；矩形波输出信号因方便进行数字处理而被广泛应用于定位控制场合，如海德汉公司的 ROD431 型 HTL 增量式编码器（见图 3-75）。

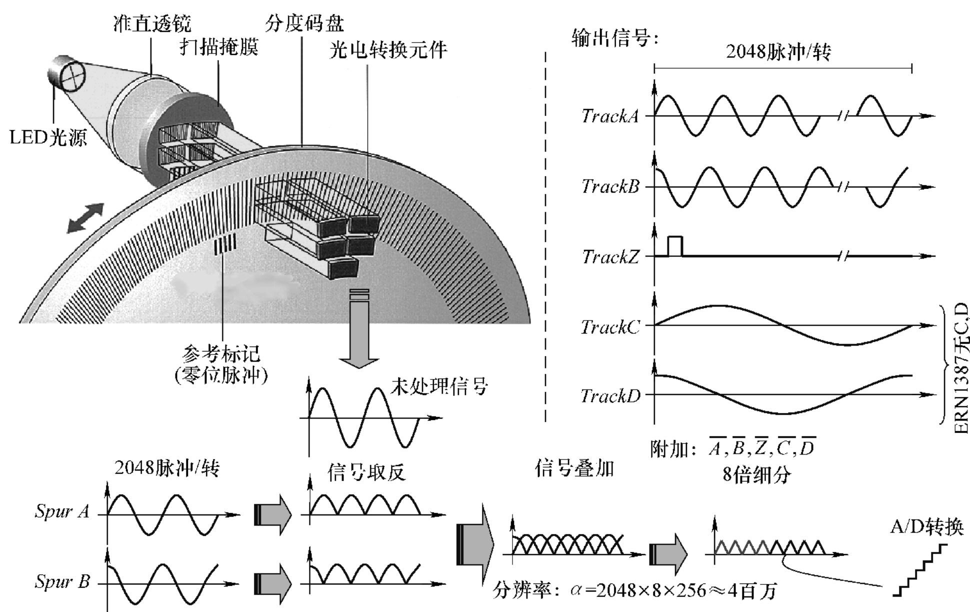


图 3-74　ERN1381/ERN1387 型 sin/cos 1Vpp 增量式编码器的组成及输出信号波形

6）输出电路的形式：增量式光电编码器的输出电路形式有集电极开路输出（Open Collector）、电压输出（Voltage Output）、线驱动输出（Line Driver）和互补型输出（Complemental Output）以及推挽式输出（Totem Pole），如图 3-76 所示。

① 集电极开路输出电路（见图 3-76a）：该电路的编码器输出侧为 NPN 三极管，其发射极接至 0V 端子，集电极与 + Vcc 端子断开并作为信号的输出端。它主要用于电梯、纺织机械、切割机械、印刷机械和针织机械等场合中编码器供电电压与信号接收装置电压不一致的情况下。

② 电压输出电路（见图 3-76b）：该电路的编码器输出侧仍为 NPN 三极管且其发射极接 0V 端子，集电极仍作为信号输出端，只是在集电极与 + Vcc 端子间并联一个电阻。它主要用于电梯、纺织机械、切割机械、印刷机械和针织机械等场合中编码器供电电压与信号接收装置电压一致的情况下。

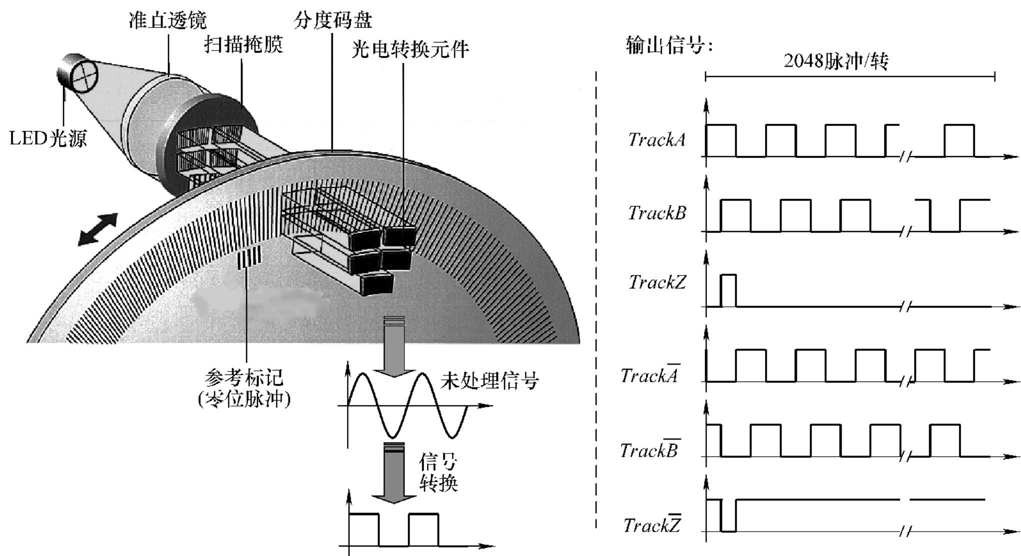


图 3-75 ROD431 型 HTL 增量式编码器的组成及输出信号波形

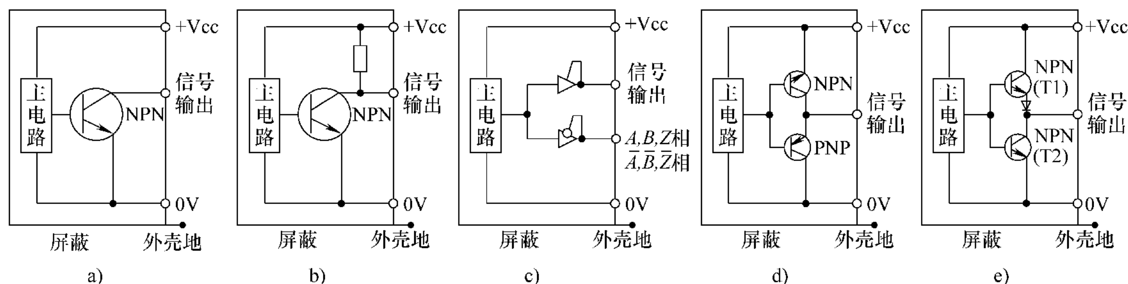


图 3-76 增量式光电编码器的输出电路形式

a）集电极开路输出电路 b）电压输出电路 c）线驱动输出电路 d）互补型输出电路 e）推挽式输出电路

③ 线驱动输出电路（见图 3-76c）：该电路采用具有高速响应和良好抗噪声性能的线驱动专用 IC 芯片 26LS31，适合于伺服电动机、机器人和数控加工机械等场合下编码器信号的长距离传输。

④ 互补型输出电路（见图 3-76d）：该电路中 PNP 型和 NPN 型三极管各有 1 个，当其中一个三极管导通时另一个三极管则关断。因其具有高输入阻抗和低输出阻抗（可提供大范围的电源）以及输入/输出信号相位相同且频率范围较宽的特点，而被用于电梯和某些特定场合中编码器信号的长距离传输。

⑤ 推挽式输出电路（见图 3-76e）：该电路中包含 2 个 NPN 型三极管，当输出信号为“1”时 T1 导通，输出为“0”时 T2 导通，输出电流具有流入和流出两个方向。因其具有低输出阻抗及不易受噪声和变形波影响的特点，而被用于电梯、纺织机械、切割机械、印刷机械和针织机械等场合中编码器信号的更长距离传输（如 HTL 矩形波的传输距离可达 300m）。

2. 绝对式光电编码器的控制原理

当系统断电时增量式编码器通过计数设备所记忆的坐标值是机床断电前的位置，该位置与机床实际位置有可能不一致，所以配置了增量式编码器的数控机床在首次开机时或按下急停按钮而

又解除急停后以及锁住机床进行程序校验后，必须执行返回参考点的操作（如针式打印机和扫描仪在每次开机时的噼里啪啦的定位响声即为增量式编码器寻找零位脉冲）。此方式不仅操作繁琐还容易因脉冲的多计或漏计造成累计误差而导致机床定位错误，于是出现了开机不用执行返回参考点操作且以数据形式表示的绝对式编码器。

（1）组成结构　绝对式光电编码器通过读取码盘上所刻的透光和不透光的编码图案来确定具有唯一性的位置，它不受停电和干扰的影响。编码图案可采取二进制码（每 1 位仅有 0 和 1 两个可能的数码，低位和相邻高位间的进位关系为“逢二进一”）、二进制循环码（格雷码）或二至十进制编码等方式进行刻制。图 3-77 中码盘上有 4 圈码道（按二进制规律将码盘刻制成透明和不透明相间的同心圆），在码盘的一侧安装 LED 光源，另一侧安装 1 排径向排列的光电管（受光元件），每个光电管对准 1 条码道。当光源照射码盘时，透明区的光线被光电管接受并转变成相应的电平信号，输出信号为“1”；不透明区的光电管不接受光线，输出信号为“0”。被测工作轴带动码盘旋转时，光电管输出的信息就代表了轴的对应位置（绝对位置）。

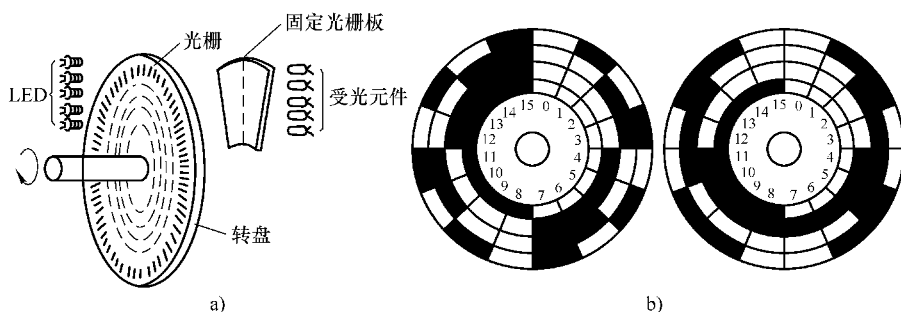
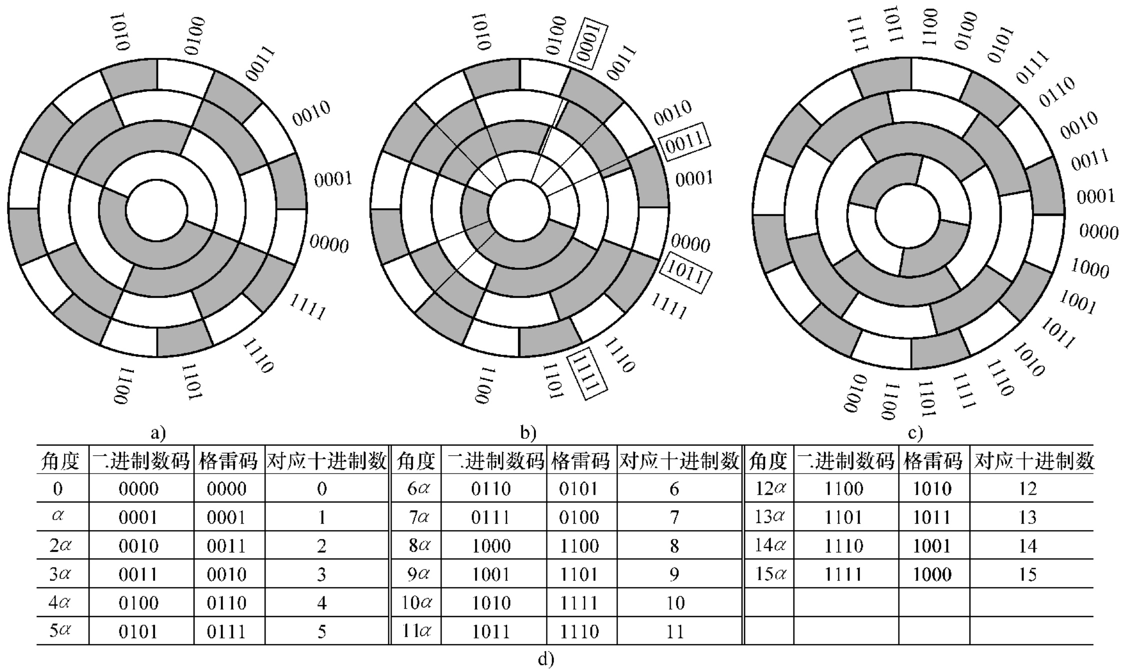


图 3-77　绝对式光电编码器的控制原理
a）原理示意图　b）结构图

（2）格雷码盘　如图 3-78 所示，虽然码盘图案的编码方式有多种，但采用二进制等编码方式刻制的码盘存在黑白分界线刻画不精确易造成粗误差（即自 1 个状态至下 1 个状态的数码变换过程中会出现错误逻辑数码，俗称冒大数）的缺点；因此绝对式光电编码器多采用格雷码方式的码盘。格雷码盘的显著特点是码盘在任意相邻区域间进行数码转换时仅有 1 个数位发生变化；这样，即使制作和安装不十分准确，所产生的误差最多仅为最低位的 1 位数。绝对式光电编码器的分辨率与码盘的码道数有关，即码道数越多其分辨率越高。如 4 位格雷码盘的分辨率 $\alpha = 360°/2^n = 360°/2^4 = 22.5°$，目前码盘的码道数可达 18 条，其分辨率为 $\alpha = 360°/2^n = 360°/2^{18} = 0.0014°$。

（3）单圈绝对式编码器和多圈绝对式编码器　因绝对式编码器在位置定位方面具有明显优于增量式编码器的特点，故它被越来越多地应用于数控机床等工业控制中（见图 3-79）。通常，绝对式编码器是在转动中通过测量码盘各码道上的刻线来获取具有唯一性的位置编码的，其测量范围为 0～360°（被称为单圈绝对式编码器，如海德汉公司的 ECN113 和 ECN413 型单圈绝对式编码器）。当测量范围超过 360°时，为使编码不再回至参考零位以符合绝对编码的唯一性原则，必须借助多圈绝对式编码器来实现多圈测量的目的，如海德汉公司的 EQN1135、EQN1325 和 ROQ425 型 4096 圈绝对式编码器。其中多圈绝对式编码器（见图 3-80）是运用钟表齿轮机械传动原理而在单圈绝对式编码器的基础上增加了一组或多组机械齿轮组码盘，当中心码盘旋转时通过机械齿轮传动另一组或多组齿轮码盘，进而使单圈编码增加为多圈编码（如 4096 圈），从而扩大了绝对式编码器的测量范围。它与单圈绝对式编码器一样，均是由机械位置确定编码且每个位置编码具有唯一性，并将工作轴转过的圈数保存至 RAM 中（断电后由后备电池供电）。

（4）绝对式编码器的信号输出形式　有并行输出、串行输出和现场总线型输出等形式。



角度	二进制数码	格雷码	对应十进制数	角度	二进制数码	格雷码	对应十进制数	角度	二进制数码	格雷码	对应十进制数
0	0000	0000	0	6α	0110	0101	6	12α	1100	1010	12
α	0001	0001	1	7α	0111	0100	7	13α	1101	1011	13
2α	0010	0011	2	8α	1000	1100	8	14α	1110	1001	14
3α	0011	0010	3	9α	1001	1101	9	15α	1111	1000	15
4α	0100	0110	4	10α	1010	1111	10				
5α	0101	0111	5	11α	1011	1110	11				

d)

图 3-78 二进制码盘与格雷码盘的区别

a）理想状态的 4 位二进制码盘 b）存在制造误差的 4 位二进制码盘 c）可避免冒大数的 4 位格雷码盘

d）4 位格雷码盘的数码表及各进制之间的对应关系

注：□内为错误数码，灰色为 1，白色为 0。

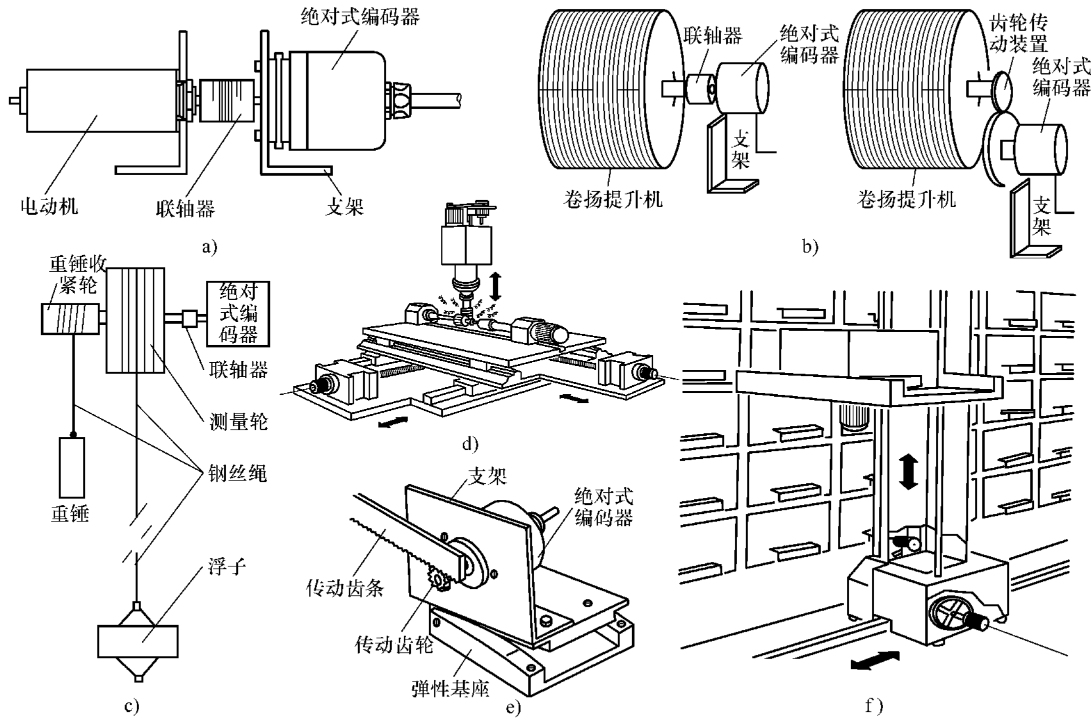


图 3-79 绝对式编码器在工业控制中的应用

a）电动机非驱动侧高速旋转应用 b）在卷扬提升机低速侧的应用 c）在重锤浮子水位测量中的应用

d）在数控机床上的应用 e）在齿轮齿条传动场合的应用 f）在仓储机械（运输小车）方面的应用

1）并行输出：在位数不高的绝对式编码器输出接口上会输出许多高低电平，用以代表数码1或0，即并行输出。该输出形式具有输出即时（即在时间上数据同时发出和空间上每个位数的数据占用1根电缆）和连接简单的优点，但必须保证数码为格雷码、所有接口连接良好（否则个别连接不良点会使该点电位始终为0而造成错码无法判断，以及信号传输距离一般控制在2m之内并进行隔离处理。



图3-80 多圈绝对式编码器

2）串行输出：串行输出就是按照约定（即通信规约）在时间上输出有先后及空间上所有位数的数据均位于1组电缆上的一种数据输出形式，因其输出连接线少和传输距离较远的特点而被用于高位数的绝对式编码器中。常见的物理连接形式有SSI同步串行和EnDat串行双向输出等。

① SSI同步串行输出（见图3-81）：当多圈绝对式编码器检测4096圈（12位）而每圈又有8092个数据（13位）时，按正常逻辑需要25个码道和25根对应的传输电缆。为了克服多电缆传输的弊端，可借助RS422或RS485串行接口通过2根数据线（自编码器输出的DATA和$\overline{\text{DATA}}$）和2根时钟线（输入至编码器的CLOCK和$\overline{\text{CLOCK}}$）共4根电缆来实现SSI同步串行通信，如海德汉公司的ECN/EQN4xx和ROC/ROQ4xx型编码器。当SSI标准数据不传输时，时钟和数据线均为高电平；SIMODRIVE 611或SINAMICS S120等接收设备经时钟线向编码器发送时钟信号（最快速度1.1MHz），在时钟第一个信号的下降沿开始存储编码器的当前绝对位置值，在时钟信号上升沿开始并经延迟时间t_2后，存储的绝对位置值经数据线自“最高有效位”（MSB）开始向接收设备输出与时钟信号同步的串行数据；一个完整的数据字（ECN/ROC型单圈绝对式编码器和EQN/ROQ型多圈绝对式编码器的数据字长分别为13位和25位）传输结束后，数据线将保持低电平一段时间（t_3）直至编码器准备好查询新位置值。

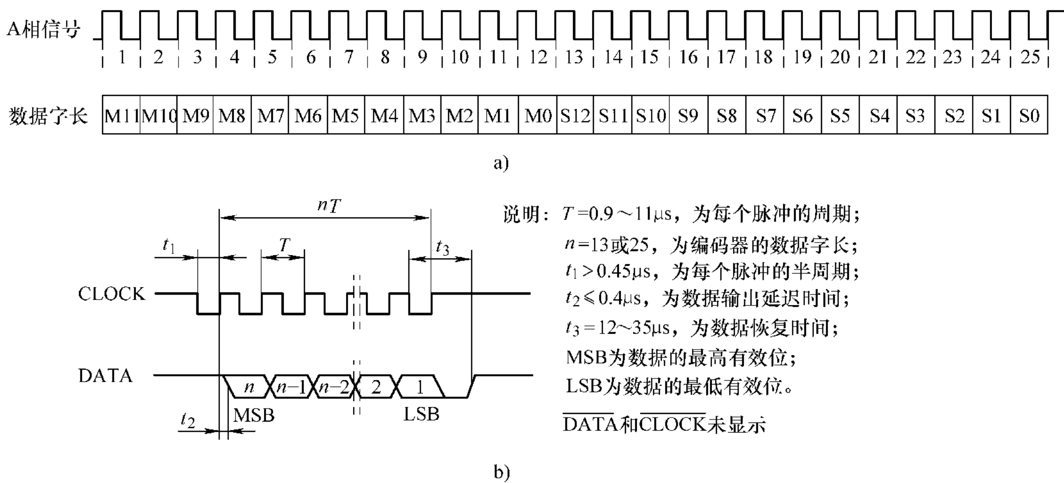


图3-81 SSI标准数据的格式及控制周期

a）SSI标准数据的格式 b）完整格式的SSI标准数据的控制周期

② EnDat串行双向输出：为适应运动控制中传输速度更快和数据信息更多的要求，海德汉公司联合西门子公司推出了一种用于编码器数据传输的EnDat串行双向输出方案（见图3-82），目前有EnDat2.1和扩展的EnDat2.2两个版本。EnDat串行双向输出既能传输绝对式编码器和支持

EnDat2.2 增量式编码器的位置值，也能读取和更新、保存在编码器中的参数或附加信息（如限位开关、温度和加速度）等。它与 SSI 同步串行输出类似，也是通过 2 根数据线（自编码器输出的 DATA 和 $\overline{\text{DATA}}$）和 2 根时钟线（输入至编码器的 CLOCK 和 $\overline{\text{CLOCK}}$）共 4 根电缆来实现串行通信的。但 EnDat 串行双向输出的时钟脉冲触发速度更快（2 ~ 10MHz），并可增加编码器内部信息和 CRC 校验及故障报警等功能，甚至可增加 sin/cos 1Vpp 增量信号以作冗余处理。

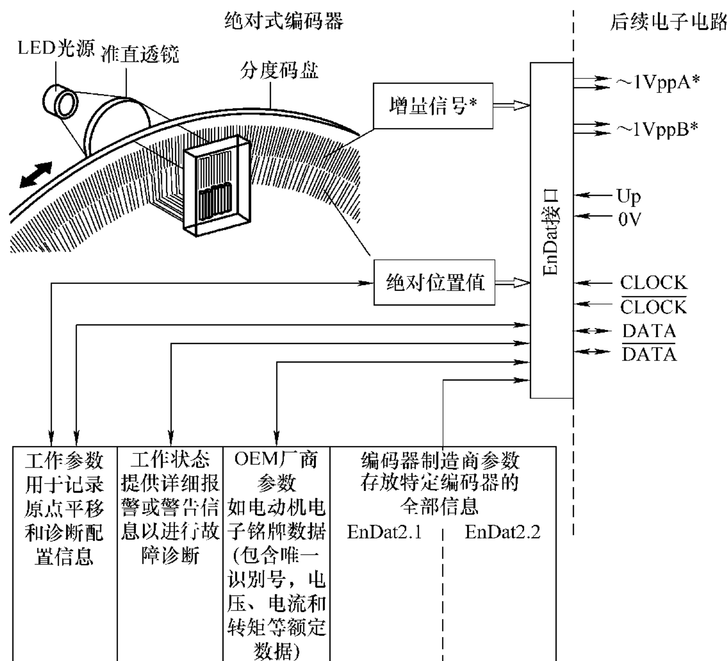


图 3-82　EnDat 串行双向输出的原理示意图

注：* 与编码器有关

3）现场总线型输出（见图 3-83）：该输出形式是将多个编码器各以一对信号线连接在一起，通过设定总线地址用 Profibus - DP、CAN、DeviceNET 或 Interbus 等通信方式（未统一）实现编码器数据传输的。在现场总线型输出中，接收设备仅需一个接口即可读取多个编码器的数据，从而实现编码器的集中控制。如此即节省了连接电缆和接收设备接口，又在大大节省成本的基础上扩大了数据的传输距离。

3. 分离型检测装置（光栅尺）的控制原理

（1）光栅的组成结构及分类

1）组成结构：光栅利用光的透射或衍射原理，通过光敏元件测量莫尔条纹移动的数量实现测量数控机床工作台的位移量，一般用于数控机床进给驱动环节的闭环控制。光栅主要由标尺光栅和光栅读数头（包括指示光栅、光源、透镜、光敏元件和转换电路）2 部分组成。通常标尺光栅固定在机床的运动部件上（如工作台或滚珠丝杠），光栅读数头安装在机床的固定部件上。标尺光栅和指示光栅的平行度及两者之间的间隙（0.01 ~ 0.1mm）要严格保证。

2）分类：

① 从位移量的测量种类看，光栅可分为直线光栅和圆光栅。其中直线光栅用于测量直线位移量，如机床 X、Y、Z 或 U、V、W 等直线轴的闭环控制；圆光栅则用于旋转位移量的测量，如机床 A、B、C 等回转轴的闭环控制。

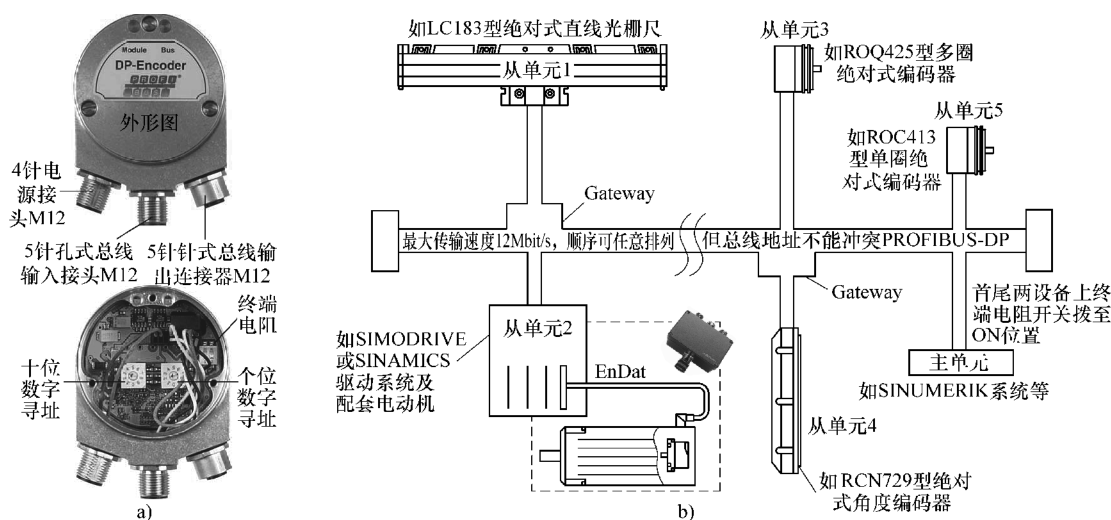


图 3-83　内置 Profibus – DP 接口的绝对式编码器及 Profibus – DP 总线结构
a）内置 Profibus – DP 接口的绝对式编码器　b）Profibus – DP 总线结构

② 从光信号的获取原理看，光栅可分为玻璃透射光栅（长度≤3m）和金属反射光栅（长度 > 3m）。其中玻璃透射光栅是在透明的光学玻璃上用真空蒸镀的方法镀上一层不透明的金属膜，然后用光刻或照相腐蚀的办法制成平行且等距的透光和不透光相间的密集线纹（圆光栅为向心线纹/同心圆），最终由光的透射现象形成光栅。玻璃透射光栅具有 3 个显著特点——一是光源的垂直入射使其信号幅度大及读数头结构简单；二是刻线密度大，分辨率高；三是标尺光栅相对移动时读数头获得脉冲信号，其位移与脉冲数成比例。金属反射光栅一般在不透明的金属材料上刻细线纹，利用光的全反射或漫反射形成光栅。金属反射光栅的特点为标尺光栅的线膨胀系数易与机床材料一致，易于接长或制成整根的长光栅，不易碰碎但怕弯折，且分辨率比玻璃透射光栅低。

③ 另外，光栅的输出信号有 TTL 电平脉冲信号和电压或电流正弦信号 2 种形式。不管哪种形式的输出信号，安装在机床上的光栅极易受到油雾和切削液的污染而造成信号丢失，从而影响位置精度的控制，因此必须对光栅进行定期维护（通入干燥精过滤的低压压缩空气和无水酒精或丙酮擦拭）以保持其清洁，同时玻璃透射光栅需要防止振动和敲击以免光学元件损坏。

（2）四场扫描玻璃透射光栅的工作原理（见图 3-84）　该类型光栅的测量系统由光源、透镜、标尺光栅、指示光栅、光敏元件和信号处理电路组成，而信号处理电路又包括放大、整形和鉴向倍频等。通常情况下，标尺光栅装在机床工作台上并随其移动。光源、透镜、指示光栅、光敏元件和信号处理电路被装在一个壳体内，做成一个单独的部件固定在机床上，这个部件称为光栅读数头，其作用是将莫尔条纹的信号转换成所需的电脉冲信号。当标尺光栅随机床工作台一起移动 1 个栅距，莫尔条纹便移动 1 个节距。光源通过聚光镜、透过标尺光栅和指示光栅形成忽明忽暗的莫尔条纹光强信号（光强变化近似 1 个正弦波），光敏元件把光强信号转换为同频率的电压信号。然后经信号处理电路中差动放大器放大至幅值足够大的（16V 左右）同频率电压波形，再经整形器整为方波及微分电路使方波的上升沿产生 1 个脉冲信号，如此对脉冲计数便得到光栅尺的移动距离。为了判断光栅移动的方向，测量系统中至少放置 2 个光敏元件，两者相距 1/4 莫尔条纹节距。当莫尔条纹移动时，根据 2 个光敏元件受光的先后顺序，得到 2 路相位相差 π/2 的波形，将输出信号送入鉴向电路，即可判断出光栅的移动方向。

为提高光栅的分辨率，除增大刻线密度和提高刻线精度外，还可用倍频的方法细分。通常采

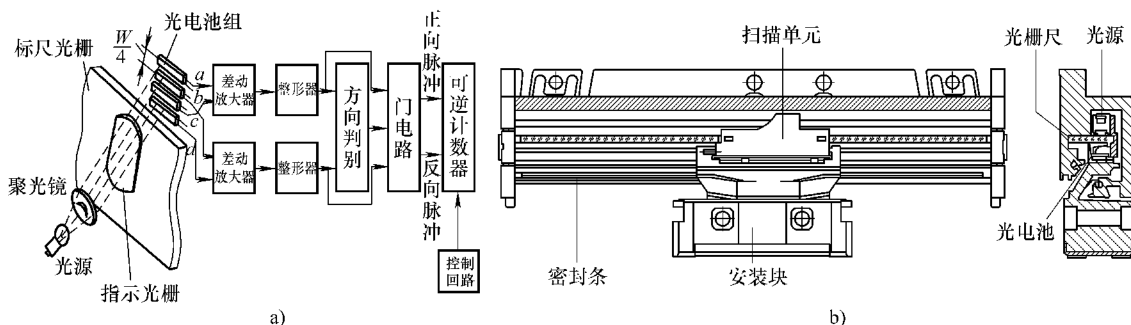


图 3-84　四场扫描玻璃透射光栅原理及结构示意图

a）测量系统原理示意图　b）封闭式直线光栅尺结构示意图

用 4 倍频的细分电路，即莫尔条纹由原来的 1 个节距变成 4 个相位依次滞后 90°的信号，从而将精度提高 4 倍。若光栅栅距为 0.01mm 且工作台每移动 0.025mm 就送出 1 个脉冲，则光栅的分辨率为 0.025mm。由此可见，光栅的分辨率取决于栅距和鉴相倍频的倍数 n，即分辨率 $=\frac{栅距}{n}$。其中 $n=4$、10、12 甚至 50、100 或更高。

（3）莫尔条纹的形成　光栅尺的读数是利用莫尔条纹的形成原理进行的。图 3-85 中，2 块栅距相同、黑白宽度相同（$W=\pi/2$）的标尺光栅和指示光栅尺面平行放置，中间保持 0.01～0.1mm 的间隙，且指示光栅在其自身平面内倾斜一很小的角度以便使指示光栅的刻线与标尺光栅的刻线间保持一很小的夹角 θ。当光源照射光栅时，在 $a-a$ 线上 2 块光栅的线纹彼此重合而形成 1 条横向透光亮带，在 $b-b$ 线上 2 块光栅的线纹彼此错开而形成 1 条不透光的暗带，这些横向明暗相间出现的亮带和暗带即为莫尔条纹。其中 2 条暗带或 2 条亮带间的距离为莫尔条纹的节距 B，若光栅栅距为 W 且两光栅线纹夹角为 θ，则有 $B=\frac{W}{2\sin(\theta/2)}$。鉴于 θ 很小而取 $\sin(\theta/2)\approx\theta/2$，于是有 $B=W/\theta$。由此可见 θ 越小 B 越大，即把栅距 W 扩大了 $1/\theta$ 倍后转化为莫尔条纹。如 $W=0.01$mm 且 $\theta=0.001$rad 时，$B=100$mm，即 W 扩大了 1000 倍。

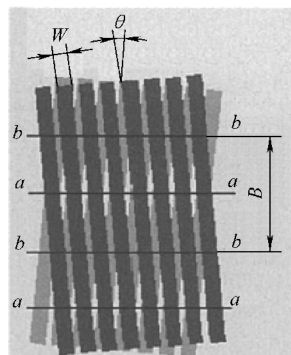


图 3-85　莫尔条纹

2 块光栅每相对移动 1 个栅距 W，光栅某一固定点的光强将按“明→暗→明”规律变化一个周期，即莫尔条纹移动 1 个节距 B。因此光电元件只要读出移动的莫尔条纹数，就可知光栅移动了多少栅距，从而得出运动部件的准确位移量。

（4）单一场扫描金属反射光栅的工作原理　由于玻璃透射光栅对工作环境的要求较高，机床不能产生过大的振动且光栅长度不能超过 3m，故通常适用于中小型数控机床上。1968 年海德汉公司研制出由 2 个不同周期的扫描光栅和钢基标尺光栅［采用 DIADUR 工艺（即在玻璃或钢基体上刻线的工艺方法）在长度超过 3m 的钢带上镀金光栅条纹］组成的单一场扫描金属反射光栅（见图 3-86），它利用光的衍射性能，光线通过扫描光栅产生相位移，该光线经标尺光栅反射，在光源的同侧由光电池接收到 4 个交变的正弦信号，最终生成 2 个相位差为 90°的正弦交流信号并输出（与四场扫描相同）。采用单一场扫描的标尺光栅（如海德汉公司的 LF 系列封闭式光栅尺），局部污染对各组信号的影响大致相同，相对玻璃光栅尺，污染造成的测量误差较小，

可适用于较大测量行程的数控机床。

3.3.3 电动机内装型编码器的报警及故障维修

1. 611D驱动系统中编码器报警与排除

通常，810D和840D等SINUMERIK系统与SIMODRIVE 611D驱动系统组合使用，以驱动数控机床的主轴和进给轴，进而实现切削加工，满足生产需求。在机床的运转过程中，因MOTION－CONNECT信号电缆的连接状态不良或插接不紧，编码器碰伤或受污染，机床数据设定不当及数字式控制板不良等，而造成与编码器相关的一些报警并呈现在SINUMERIK系统的屏幕上。详细报警代码及排除方法，如表3-8所示。

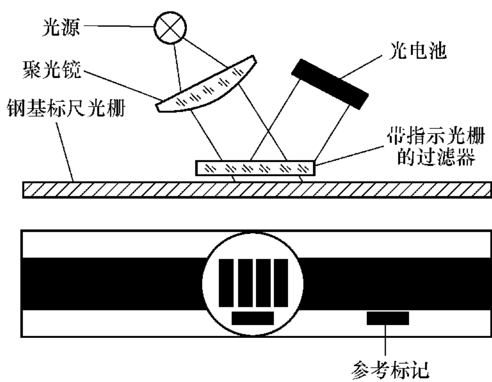


图3-86 单一场扫描金属反射光栅原理图

表3-8 SIMODRIVE 611D驱动系统中编码器的报警代码及排除方法

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25000	轴%1的主动编码器硬件出错	当前有效的位置实际值编码器的信号丢失，无相同相位或显示接地/短路迹象	1）在屏幕的PLC状态显示画面检查PLC至NCK的接口信号DB3n.DBX1.5（测量系统1）和DB3n.DBX1.6（测量系统2），正常时均为1 2）检查测量电路的插头接触是否良好，编码器电缆的完好状态（破损、进水、短路等），测量系统自身的完好状态（碰伤、划伤或污物进入等）
25001	轴%1的从动编码器硬件出错	当前无效的位置实际值编码器的信号丢失，无相同相位或显示接地/短路迹象	
25010	轴%1测量系统信号不良	具有污染信号的测量系统中，用于位置控制的编码器发出1个污染信号	据所选用测量设备的维护说明，检查测量系统，排除污染或整体更换
25011	轴%1从动编码器信号不良	具有污染信号的测量系统中，不用于位置控制的编码器发出1个污染信号	据所选用测量设备的维护说明，检查测量系统，排除污染或整体更换
25020	轴%1编码器零标志监控	2个零标志脉冲之间的位置编码器脉冲被计算（硬件功能），插补循环格（标准设置为4ms）检验编码器在2个零标志脉冲之间总是发出同样的脉冲，一旦计数器的4个最低有效位中记录到差别就会触发此报警	1）传输路径：检查电动机和进给驱动模块上实际值插头是否良好，编码器电缆的导通性，及其短路或对地情况 2）编码器脉冲：编码器电源是否在允差极限内 3）计算线路：更换或重新配置所用驱动模块 4）设定MD36310 ENC_ ZERO_ MONITORIGN［n］＝0断开零标志监控，n＝1和2
25021	轴%1从动编码器零标志监控	监控依据的是位置控制而与编码器无关（DB3n.DBX1.5 ＝ 0 和 DB3n.DBX1.6＝0），其余与25020相同	

（续）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25022	轴%1 编码器%2 探测问题%3	配置绝对式编码器且零标志监控激活（MD36310 = 1 ~ 99）时，因出现如下错误精确编码而不能正确读取编码器的绝对位置则出现此报警：%3 = 1 为奇偶检验误差，%3 = 2 为编码器报警位组，%3 = 3 为 CRC 错误，%3 = 4 为 EnDat 传输超时而启动位组丢失	若此报警频繁出现，则表明绝对式编码器的信号传输不正常或编码器自身状态不良，可用同规格的信号电缆、绝对式编码器对问题零部件更换；或由 MD36310 ENC_ ZERO_ MONITORING［n］ =0 断开零标志监控，n = 1 和 2
25030	轴%1 实际速度误差报警	若坐标轴至少存在 1 个编码器，则坐标轴的实际速度在 IPO 循环中循环检验；当实际速度超过 MD36200 AX_ VELO_ LIMIT（速率监控阀值）的规定值时会触发报警	检查速度设置点电缆（总线电缆）及位置控制的实际值和方向，若坐标轴的旋转失控则需通过 MD32110 ENC _ FEEDBACK _ POL［n］ = −1、0 或 1 来改变位置控制方向，或增加速率监控阀值 MD36200 等
25100	轴%1 测量系统不能切换	因所要求切换的编码器不满足如下条件而触发此报警 1）所选编码器均处于有效状态，即 DB3n. DBX1. 5 = 1 或 DB3n. DBX1. 6 = 1 2）两个编码器间的实际值之差大于 MD36500ENC_ CHANGE_ TOL（位置实际值切换的最大允差）的设定值	只要接口信号 DB3n. DBX1. 5 和 DB3n. DBX1. 6 发生改变，就进行位置测量系统切换；均为 1 时仅第 1 测量系统有效，均为 0 时轴停止。维修人员应检查编码器信号、实际值电缆和连接插头；检查机械紧固件（如测量头位移或可能产生的机械扭绞等）；增大 MD36500 以提高位置实际值切换的最大允差
25105	轴%1 编码器位置公差超出	在编码器数参数 MD30200 NUM_ ENCS = 2 和设置了参考点功能时，若 2 个测量系统运行明显不同即 2 个测量系统间循环监控的实际数值差别大于 MD36510 ENC_ DIEF_ TOL（测量系统的同步公差）的设定值，则会触发此报警	检查机床数据中所选的有效编码器；适当调整 MD36510 以改变测量系统的同步公差等
25110	轴%1 所选编码器不存在	所选择的编码器与 MD30200 NUM_ ENCS 中的编码器最大数量不对应，即第 2 个编码器不存在	修正 MD30200（编码器数）：0 为坐标轴不使用编码器，1 为坐标轴使用 1 个编码器，2 为坐标轴使用直接、间接 2 个测量系统
26002	轴%1 编码器%2 用于伺服的分辨率和位置控制分辨率出错	旋转测量系统（MD31000 ENC_ IS_ LINEAR = FALSE）：MD31020 中设定的编码器线数与驱动器数据 MD1005 中的值不一致，或其中一个机床数据被设为 0 带 EnDat 接口的绝对式测量系统（MD30240 = 4）要检查驱动发送的增量信号与绝对信号的分辨率的一致性：旋转型（MD31000 ENC_ IS_ LINEAR = FALSE）的电动机测量系统 MD1022/MD1005 ≠4 × n 和直接测量系统 MD1032/MD1007 ≠4 × n 时，触发此报警；线性（MD31000 ENC_ IS_ LINEAR = TRUE）的电动机测量系统 MD1005/MD1022 ≠4 × n 和直接测量系统 MD1007/MD1032 ≠4 × n 时，触发此报警。其中 n = 1，2，…	修正以下机床数据： MD31020 ENC_ RESOL（每转的编码器行） MD30240 ENC_ TYPE（实际值传感类型） MD1005 ENC_ RESOL_ MOTOR（电动机测量系统编码器增量） MD1022 ENC_ ABS_ RESOL_ MOTOR（电动机绝对值轨迹的测量步骤） MD1007 ENC_ RESOL_ DIRECT（直接测量系统的编码器增量） MD1032 ENC_ ABS_ RESOL_ DTRECT（绝对值轨迹 DM 的测量步骤）

（续）

报警代码	报 警 内 容	报 警 原 因	排 除 方 法
26006	轴%1 编码器%2 编码器类型/输出类型%4 不对	与编码器类型和输出类型相关的机床数据设定错误：MD30130 等于 0 时为模拟输出，等于 1 时为标准输出；MD30240 等于 0 为模拟，等于 1 为高分辨率原信号发生器，等于 2 为标准方波编码器，等于 3 为步进电动机编码器，等于 4 为带 EnDat 接口的绝对式编码器，等于 5 为带 SSI 接口的绝对式编码器	修正以下机床数据： MD30130 CTRLOUT_ TYPE（设定值输出类型）； MD30240 ENC_ TYPE（实际值传感类型）
26020	轴%1 编码器%2 初始化时硬件出错，错误代码%3	编码器初始化期间出现硬件错误，具体由%3 精确编码进一步确定：0 为照明故障，1 为信号幅值太小，2 为位置值不正确，3 为过电压，4 为欠电压，5 为过电流，6 为须更换电池，7 为控制检查错误，8 为 EnDat 编码器连接错误，9 为 ERN1387 编码器 C/D 磁道错误或连接错误或参数设定错误，11 为数据线上检测到 SSI 电平或 ERN 型编码器未连接或信号电缆错误，12 为读测量值超时，13 为 CRC 错误，14 为错误的 IPU 子模块用于直接测量信号，15 为编码器故障	根据%3 精确编码提供的详细故障，进行原因查找，如插头虚接，信号电缆破皮、断线、屏蔽不良，编码器硬件出错，编码器受污染，611D 功率模块的数字控制板故障等，并用同规格的电缆、编码器或数字式控制板等更换故障零部件
26030	轴%1 编码器%2 的绝对位置丢失	改变参数程序段或更换带序列号的绝对式编码器（MD34230 ENC_ SERIAL_ NUMBER）时，绝对式编码器的绝对位置丢失	重新设定绝对式编码器的参考点或重新同步；在负载端安装绝对式编码器并配置 MD31040 ENC_ IS_ DIRECT = 1（编码器/光栅为直连）
300008	轴%1 驱动%5 测量循环%6 无效	MD30230 ENC_ INPUT_ NR = 1 或 2 为选择了编码器插头，但编码器未与之进行连接	根据 MD30230（输入到驱动器子模块/测量电路板）的设定，将编码器连接至对应插头上
300009	轴%1 驱动%5 编码器%6 配置的编码器类型与测定轴类型不同	数字式控制板上当前显示的实际值模块与 MD30240 中设定的编码器类型不一致	MD30240 等于 0 为模拟，等于 1 为高分辨率原信号发生器，等于 2 为标准方波编码器，等于 3 为进步电动机编码器，等于 4 为带 EnDat 接口的绝对式编码器，等于 5 为带 SSI 接口的绝对式编码器
300505	轴%1 驱动%5 电动机测量系统的光学编码器出错，错误代码%3	错误代码 MD1023 在电动机测量系统中或者 MD1033 在直接测量系统中：0 为照明故障，1 为信号幅值太小，2 为代码连接错误，3 为过电压，4 为欠电压，5 为过电流，6 为须更换电池，7 为 CRC 错误（估算位 13），8 为编码器不能使用及绝对条码不能分配给增量条码，9 为 ERN1387 编码器 C/D 磁道错误或连接了 EQN，11 为数据线上检测到 SSI 电平，12 为读测量值超时，13 为 CRC 错误，14 为错误的 IPU 子模块用于直接测量信号，15 为编码器故障	适用于增量式编码器 ERN1387、绝对式编码器 EQN1325、绝对电动机轨迹（C/D）监控、监控编码器硬件和 EnDat 接口：据 MD1023 ENC_ ABS_ DIAGNOSIS_ MOTOR（电动机绝对值轨迹的测量电路诊断）或 MD1033 ENC_ ABS_ DIAGNSIS_ MOTOR（绝对值轨迹直接测量系统诊断）中错误编码提供的详细故障，进行原因查找，如插头虚接，信号电缆破皮、断线、屏蔽不良，编码器硬件出错、受污染，611D 功率模块的数字控制板故障等，并用同规格的电缆、编码器或数字式控制板等更换故障零部件

（续）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
300508	轴%1 驱动%5 电动机测量系统零标志监控	因电动机、编码器信号电缆、功率模块和电源模块等故障，在通过零标志信号时以（16/10）为模计数的编码器脉冲数出错（叠加部分的增量丢失或增加）而触发报警	用西门子原装编码器电缆以改善屏蔽效果，重新插接编码器电缆插头以消除接触不良，更换状态不良的编码器或信号电缆，更换问题功率模块或电源模块，对齿轮编码器应检查齿轮与传感器间的距离
300737	轴%1 驱动%5 不能配置 2 个 EnDat 编码器	MCU 不允许用 EnDat 接口将 2 个绝对式编码器接在 1 根轴上	拆掉其中 1 个绝对式编码器，用另 1 台电动机替换电动机测量系统或用另 1 编码器替换直接测量系统；修正机床数据 MD1011 ACTUAL_ VALUE_ CONFIG（实际值传感 IM 的配置）或 MD1030 ACTUAL_ VALUE_ CONFIG_ DIRECT（实际值传感 DM 的配置）
301703	轴%1 驱动%5 测量系统与电动机类型不能匹配	选择了直线电动机（电动机选择菜单）但未配置直线比例（即 MD1011.4 =0），或选择了旋转电动机但配置了直线比例（即 MD1011.4 = 1）时，触发此报警	根据电动机形式对编码器类型进行参数化，并修正机床数据 MD1011 ACTUAL_ VALUE_ CONFIG（实际值传感 IM 的配置）

注：%1 为轴名称或主轴号，%2 为编码器号码，%3 为错误精确编码，%4 为编码器类型/输出类型，%5 为驱动号，%6 为测量电路号。

2. S120 Combi 和书本型驱动器中编码器报警与排除

通常，802Dsl、828D 和 840Dsl 等 SINUMERIK 系统与 SINAMICS S120 驱动器组合使用（828D 系统主要与 S120 Combi 组合），以驱动数控机床的主轴和进给轴，进而实现切削加工，满足生产需求。在机床的运转过程中，因 DRIVE－CLiQ 信号电缆的连接状态不良或插接不紧、编码器碰伤或受污染、机床数据设定不当及电动机模块不良等，而造成与编码器相关的一些报警并呈现在 SINUMERIK 系统的屏幕上。适用于 S120 Combi 和书本型驱动器的编码器报警代码及排除方法见表 3-9。注意：少量报警虽与 611D 驱动系统中编码器的报警代码及内容等相同，但接口信号是不同的。

表 3-9　S120 Combi 和书本型驱动器中编码器的报警代码及排除方法

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
2130	5V/24V 编码器或 15V D/A 转换器电压偏低	测量编码器的 5V/24V 或 D/A 转换器的 ±15V 电源发生故障（FM357－2）	检查测量编码器和 DRIVE－CLiQ 信号电缆是否短路（拔下 S120 电动机模块 X202/X203 接口上和编码器侧的信号电缆后报警即可消失）
4071	检查编码器的位置	编码器位置的机床数据被修改。如绝对编码器时修改了编码器校正，其他编码器时修改了轴位置的参考点基准	绝对式编码器时应检查编码器的校正，其他编码器时应检查返回参考点的过程

（续）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25000	轴%1的主动编码器硬件出错	当前有效的位置实际值编码器的信号丢失，无相同相位或显示接地/短路迹象	在840Dsl系统屏幕的PLC状态显示画面检查PLC至NCK的接口信号DB3n.DBX1.5（测量系统1）和DB3n.DBX1.6（测量系统2），正常时均为1。在802Dsl/828D系统屏幕的PLC状态显示画面检查PLC至NCK的接口信号V380n0001.5（测量系统1）和V380n0001.6（测量系统2），正常时为1。检查测量电路的插头接触是否良好，编码器电缆的完好状态（破损或进水、有短路等），测量系统自身的完好状态（碰伤、划伤或污物进入等）
25001	轴%1的从动编码器硬件出错	当前无效的位置实际值编码器的信号丢失，无相同相位或显示接地/短路迹象	
25010	轴%1测量系统信号不良	具有污染信号的测量系统中，用于位置控制的编码器发出1个污染信号	据所选用测量设备的维护说明，检查测量系统，排除污染或整体更换
25011	轴%1从动编码器信号不良	具有污染信号的测量系统中，不用于位置控制的编码器发出1个污染信号	据所选用测量设备的维护说明，检查测量系统，排除污染或整体更换
25020	轴%1编码器零标志监控	2个零标志脉冲之间的位置编码器脉冲被计算（硬件功能），插补循环格（标准设置为4ms）检验编码器在2个零标志脉冲之间总是发出同样的脉冲，一旦计数器的4个最低有效位中记录到差别就会触发此报警	1）传输路径：检查电动机和电动机模块上实际值插头是否良好，编码器电缆的导通性，及其短路或对地情况 2）编码器脉冲：编码器电源是否在允差极限内 3）计算线路：更换或重新配置所用电动机模块 4）设定MD36310 ENC_ ZERO_ MONITORING［n］=0断开零标志监控，n=1和2
25021	轴%1从动编码器零标志监控	监控依据的是位置控制而与编码器无关（840Dsl系统中DB3n.DBX1.5=0和DB3n.DBX1.6=0，802Dsl/828D系统中V380n0001.5=0和V380n0001.6=0），其余与25020相同	
25022	轴%1编码器%2探测问题%3	配置绝对式编码器且零标志监控激活（MD36310=1～99）时，因出现如下错误精确编码而不能正确读取编码器的绝对位置就出现此报警：%3=1为奇偶检验误差，%3=2为编码器报警位组，%3=3为CRC错误，%3=4为EnDat传输超时而启动位组丢失	若此报警频繁出现，则表明绝对式编码器的信号传输不正常或编码器自身状态不良，可用同规格的信号电缆、绝对式编码器对问题零部件更换
25030	轴%1实际速度误差报警	若坐标轴至少存在1个编码器，则坐标轴的实际速度在IPO循环中循环检验：当实际速度超过MD36200 AX_ VELO_ LIMIT（速率监控阀值）的规定值时会触发报警	检查速度设置点电缆（总线电缆）及位置控制的实际值和方向，若坐标轴的旋转失控则需通过MD32110 ENC_ FEEDBACK_ POL［n］=-1、0或1来改变位置控制方向，或增加速率监控阀值MD36200等

（续）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25100	轴%1 测量系统不能切换	因所要求切换的编码器不满足如下条件而触发此报警 1）所选编码器均处于有效状态，即840Dsl 系统中 DB3n. DBX1. 5 = 1 或 DB3n. DBX1. 6 = 1，802Dsl/828D 系统中 V380n0001. 5 = 1 或 V380n0001. 6 = 1 2）两个编码器之间的实际值之差大于 MD36500 ENC_ CHANGE_ TOL（位置实际值切换的最大允差）的设定值	只要 DB3n. DBX1. 5/DB3n. DBX1. 6 或 V380n0001. 5/V380n0001. 6 接口信号发生改变（即轴处于运动状态），就进行位置测量系统的切换：均为 1 时仅第 1 测量系统有效，均为 0 时轴停止不动。维修人员应检查编码器信号、实际值电缆和连接插头；检查机械紧固件（如测量头位移或可能产生的机械扭绞等）；增大 MD36500 以提高位置实际值切换的最大允差
25105	轴%1 编码器位置公差超出	在编码器参数 MD30200 NUM_ ENCS = 2 和设置了参考点功能时，若 2 个测量系统运行明显不同即 2 个测量系统间循环监控的实际数值差别大于 MD36510 ENC_ DIEF_ TOL（测量系统的同步公差）的设定值，则会触发此报警	检查机床数据中所选的有效编码器；适当调整 MD36510 以改变测量系统的同步公差等
25110	轴%1 所选编码器不存在	所选择的编码器与 MD30200 NUM_ ENCS 中的编码器最大数量不对应，即第 2 个编码器不存在	修正 MD30200（编码器数）的值：0 为坐标轴不使用编码器，1 为坐标轴使用 1 个编码器，2 为坐标轴使用直接、间接 2 个测量系统
26006	轴%1 编码器%2 编码器类型/输出类型%4 不对	与编码器类型和输出类型相关的机床数据设定错误：MD30130 等于 0 时为模拟输出，等于 1 时为标准输出；MD30240 等于 0 为模拟，等于 1 为高分辨率原信号发生器，等于 4 为带 EnDat 接口的绝对式编码器，等于 5 为带 SSI 接口的绝对式编码器	修正以下机床数据： MD30130 CTRLOUT_ TYPE（设定值输出类型）； MD30240 ENC_ TYPE（实际值传感类型）
26030	轴 1% 编码器%2 绝对位置丢失	改变参数程序段或更换带序列号的绝对式编码器（MD34230 ENC_ SERIAL_ NUMBER）时编码器绝对位置丢失	重新设定绝对式编码器的参考点或重新同步；在负载端安装绝对编码器并配置 MD31040 ENC_ IS_ DIRECT = 1（编码器/光栅为直连）

注：%1 为轴名称或主轴号，%2 为编码器号码，%3 为错误精确编码，%4 为编码器类型/输出类型，%5 为驱动号，%6 为测量电路号。

3. 840D 主轴 300508 报警的故障分析

配置了 SINUMERIK 840D 系统和 SIMODRIVE 611D 驱动系统的 DMG－DMC635V 立式加工中心，在自动运行过程中突然停止而转至急停状态，屏幕上呈现如图 3-87 所示的报警信息。

（1）报警原因分析　对于数控机床所发生的多个报警，维修人员应先从报警的机理分析入手，弄清楚多个报警中谁是主导性报警，谁是诱发性报警（因报警或故障而引起的可消除型报警），再根据报警的主次关系来着重解决主导性报警。

1）查《SINUMERIK 840D/840Di/810D 诊断说明》可知，25201 报警是由 300508 报警触发而产生的 1 级严重故障信号；即 300508 报警属于需要先行解决的主导性报警，25201 报警属于解决了主导性报警后便可消除的诱发性报警。

2）21612 报警是通道 1 轴 SP1 正在运动时 VDI 信号“调节使能”被复位而产生的。通常，高速旋转状态下的机床主轴因断电等异常情况而突然停机，将会导致 611D 驱动系统中的各模块

27001：轴SP1交叉校对错误，代码3 … 44，NCK值-296573690，伺服-296573509；
300911：轴SP1驱动6交叉检查时出错；
27023：轴SP1停止信号B触发；
27024：轴SP1停止信号A触发；
300508：轴SP1驱动6电动机测量系统零标志监控；
21612：通道1轴SP1 VDI信号“调节使能”被复位；
25201：轴SP1伺服故障；

图3-87　DMG－DMC635V加工中心屏幕所呈现的报警信息

产生失（掉）电时间差——即在NCU模块未停止的情况下驱动电动机的功率模块先失电而NCU模块上的NCU控制板（装有高性能多处理器）仍处于工作状态，进而NCU模块发出使能复位信号（VDI信号）；此时的机床主轴因惯性继续高速旋转。因此，21612报警不是由硬件损坏引起的报警而是因极短暂的电源缺失造成的报警。一般通过切断机床主电源再重启机床的操作可将其消除掉，故可将该报警列入诱发性报警中。

3）840D系统中的300911和27023报警均是伴随着27001报警而出现的，27024报警则是伴随着27023报警出现的。由此可见27001报警属于需要先行解决的主导性报警，其他3个报警属于解决了主导性报警后便可消除的诱发性报警。而27001报警显示为驱动轴实际位置值和通道位置监控值之间存在的差异（MD1305～MD1363）超出了监控公差值（MD36905～MD36963）的范围，若在设定好的机床数据未被改动的前提下通过冷启动复位仍不能将其消除时，则须考虑硬件损坏的可能性。但27001报警所涉及的硬件较多，几乎涵盖了整个控制回路，故需要结合300508报警来共同分析处理。

4）300508报警是机床主轴和进给轴上比较常见的报警之一，它是用来监控驱动轴电动机测量系统中零标志信号的（即2个零脉冲间的脉冲数）。一旦因电动机故障、编码器信号电缆问题、主轴/进给轴功率模块和电源模块等故障（通常与已设定好的未发生改变的机床数据无关），在通过零标志信号时以（16/10）为模计算的编码器脉冲数（线数为2048的编码器正常时2个零脉冲间的脉冲数为2048）出错（即叠加部分的增量丢失或增加），将立即触发此报警。

（2）报警消除方法　通常是严格按照“四步到位法”（即故障记录到位→诊断分析到位→故障维修到位→维修记录到位）的要求，合理运用备板置换（替代）法和交换（同类对调）法等现代故障诊断分析方法，由简至繁地逐一排查报警的原因并采取针对性措施以消除故障。

1）通过切断机床主电源再重启机床的操作，观察是否可消除300508报警。若报警消除，则故障原因多数为编码器信号电缆的反馈与零标志信号的反馈回路受到了电磁干扰。此时可检查周围的用电环境（如电焊变压器或压缩机等外部干扰）和机床的接地线是否良好以及信号电缆和机床电源线的布置是否合理等，可为机床加装隔离稳压电源（有源稳压）及使用西门子原装编码器电缆（改善屏蔽效果）。若报警消不掉则多数为硬件方面存在故障。

2）对于硬件故障：

① 先检查编码器信号电缆是否存在破皮、老化等问题及它与611D功率模块上接口X411的连接是否存在插头松动、端子虚接等问题，此时可先重新插接这2根电缆以消除接触不良进而用同规格的备用电缆进行替换以排除电缆状态不良。若存在300508报警的是主轴之外的进给轴*X/Y/Z*时，还应检查光栅尺的连接电缆及它与611D功率模块上接口X421的连接。

② 若机床存在接近开关、BERO或齿轮编码器等检测元件时，可尝试通过调近检测元件与被测元件之间的距离（如齿轮编码器为齿轮与传感器间的距离）来消除300508报警。

③ 鉴于611D 驱动系统是通过一根数据总线与 SINUEMRIK 840D 系统的 NCU 实现通信并自 NCK 中下载所需的驱动软件（如速度环和电流环的参数及电动机配置信息等），明显比电动机编码器和光栅尺的检查与配件更换要方便，因此可用该机床上同规格的数字式控制板（或备用板）进行替换以排除控制板存在问题的可能性。

④ 在数字式控制板没有问题的情况下，可用其他机床上同规格的电源模块（或备用电源模块）进行替换以排除电源模块存在问题的可能性。

⑤ 因电动机编码器与电动机的连接松动会造成编码器脉冲数传送不正常而触发报警，故可在拆开强制风冷型异步主轴电动机（见图 3-88）的后盖并仔细拆卸掉散热风扇后，检查电动机编码器的外观和连接情况——若转矩支架松动则编码器固定不牢固。

⑥ 因电动机编码器自身故障也会造成编码器脉冲数传送不正常而触发报警，故在确认了编码器与电动机的连接正常后，可使用特制螺钉将编码器自电动机心轴上顶下来并转动编码器转子进行检查——感觉有阻滞时编码器损坏，应用同型号的编码器进行更换。

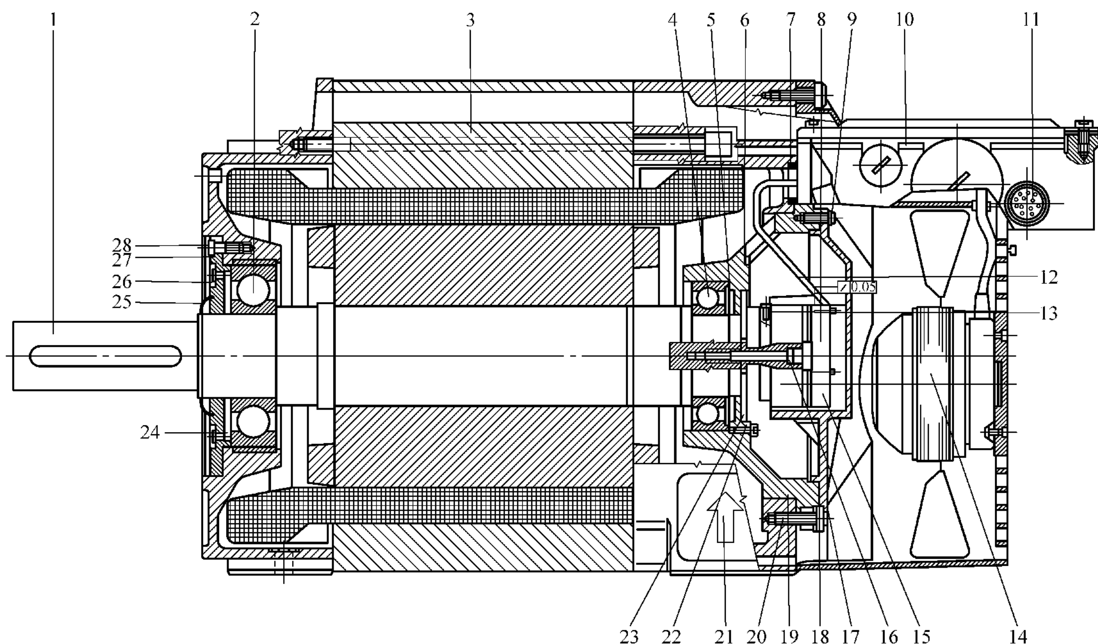


图 3-88　1PH7 系列强制风冷型异步主轴电动机

1—带电动机心轴的笼型转子　2—驱动端深沟球轴承　3—电动机定子　4—非驱动端深沟球轴承　5—波形弹簧　6—轴承端盖　7—垫圈　8、18、19、27—O 形圈　9—编码器盖板螺钉　10—风扇模块　11—电缆连接插头　12—带绝缘头的电缆　13—螺钉　14—散热风扇　15—编码器　16—编码器螺钉　17—编码器盖板　20—轴承端盖螺钉　21—塞子　22—转矩支架螺钉　23—转矩支架　24—挡圈　25—伽玛环　26—轴承盖板　28—轴承盖板螺钉

（3）机械传动路径上的机械突变也会造成机床进给轴出现 300508 报警　如武汉重型机床公司生产的由 SINUMERIK 840D 系统同步轴控制龙门移动的 XK2755 定梁龙门铣（属于动梁式龙门结构，即框架运动而工作台不动），在使用 2 年时间后龙门移动时经常出现此报警使得机床无法正常运转而停机。在确认了编码器信号电缆和光栅尺连接电缆、该轴功率模块上数字式控制板及电动机编码器无异常后，遂将机床的报警原因锁定为停机位置处的光栅尺检测到了非正常的零标志信号（如一个负向干扰信号致零标志信号丢失/抵消，或一个正向信号致零标志信号增加）。基于操作者反映 300508 报警主要发生在床身长度（三截共 26m）方向上几个固定的地方，维修人员先拆掉光栅尺防护罩后用手指头自尺盒的挡油橡皮下进去摸标尺光栅面，但未发现这几个报

警固定点的标尺光栅受污染（相当干净）。继续围绕光栅尺查找报警原因时，发现三截床身所形成的两个接缝较大（塞尺检测接缝宽达0.28mm，百分表检测两边导轨面上下相差0.15mm），且接缝处正好对应于机床报警的发生点；同时因机床每次经过报警点的速度等情况不同，对测量系统造成的干扰大小也不尽相同（干扰较小时仍可分辨出零标志信号），进而使得300508报警存在不确定性（不是每次运行至接缝处就报警）。因此对床身的两个接缝进行机械调整和床身重新调平后，在电气方面未作任何调整的情况下机床就恢复正常了。至于床身接缝扩大，是由于床身地基未经预压便仓促安装机床而导致地基变形造成的。

4. 1PH/1FT/1FK系列电动机编码器的更换

在配置了SINUMERIK系统的数控机床上，用于机床电气控制和机械动作之间耦合的西门子电动机有主轴电动机（如1PH4/1PH7/1PH8系列异步电动机）和进给轴电动机（如1FT6/1FK6和1FT7/1FK7系列永磁同步电动机）两种型式。尽管这些电动机的性能优良，但伴随着数控机床在恶劣环境（粉尘/油污/潮湿等）下长时间超负荷运转以及现场不及时到位的全面维护或不正确操作等，这些电动机的定子、转子和支承轴承及内装型电动机编码器均会出现性能下降和状态不良甚至损坏等问题，最终导致电动机无法继续运转。此时除了自西门子公司购买同规格的电动机进行替换外，还可对出现故障的电动机进行拆卸修理以节约维修费用和缩短维修时间。因这些电动机采用了内装型编码器，故拆卸故障电动机时均需对编码器进行拆卸修理或更换。对1PH4/1PH7/1PH8系列异步主轴电动机而言，仅需使用专用工具来拆卸或安装电动机编码器即可进行试车而无需调整电动机心轴或编码器的角度及位置。对于配置了ERN1387型增量式编码器或EQN1325型绝对式编码器的1FT6/1FK6系列永磁同步电动机（如1FT603～1FT613和1FK604～1FK610）而言，因其具有C/D转子位置识别信号，在安装编码器时需保证其转子位置与电动机转子的位置相对应。另外绝对式编码器还需识别更换编码器之前的机床位置，所以必须严格按照ERN1387/EQN1325型编码器的拆卸和安装要求执行。否则就会出现编码器方面的报警而不能启动机床或出现飞车事故，进而导致电动机报废或机械部件损坏。对于1FT7/1FK7系列永磁同步电动机而言，可很简单地更换编码器模块（旋转变压器除外）而无需重新校准编码器。

（1）1PH4/1PH7/1PH8系列异步主轴电动机编码器的更换　如图3-89所示。

1）电动机编码器的拆卸步骤：切断机床电源→打开端子盒盖板→拆除端子盒上的动力电缆和温度传感器电缆→若电动机安装有风扇单元则需将其拆掉→打开电动机尾部的盖板8→拧开插头盖板螺钉29并拆除插头盖板30→拔出信号电缆的插头→拧开转矩支架螺钉12→保持电动机心轴20.1不动的前提下拧下与电动机心轴固定的编码器螺钉10→在原编码器螺钉位置处旋入一条特制螺钉34，或者先将一个适合的紧定螺钉47（1PH4和1PH7系列电动机时规格分别为M5×30和M5×15）旋入电动机心轴，再旋入一条长度适宜的M6螺钉（1PH4和1PH7系列电动机时的最小长度分别为40mm和50mm）→将待更换的编码器9自电动机心轴上顶下来。

2）电动机编码器的安装步骤：选择状态完好的同规格新编码器9→使用连接螺钉33将转矩支架11固定至新编码器上（注意转矩支架与编码器底面之间的距离），并用螺纹锁固剂（如乐泰243）进行加固以防松脱→若先前拆卸故障编码器时采用的是紧定螺钉47和M6螺钉相配合的方法，则安装新编码器前务必拆掉电动机心轴20.1内的紧定螺钉47→拧开新编码器的插头盖板螺钉29，并拆除插头盖板30→将转矩支架安装完毕的新编码器9装于电动机尾部心轴的锥孔内，并在保持电动机心轴不动的前提下通过5_{-1}N·m的紧固转矩旋紧编码器螺钉10→用螺钉12将转矩支架11固定在电动机非驱动端的轴承端盖13上，并通过千分表测量使编码器的径向振幅不超过0.05mm→压入插头电缆的金属管套→插入信号电缆插头并将电缆置入电缆导管中→用螺钉29紧固插头盖板30，并用螺纹锁固剂进行加固以防松脱→因1PH4/1PH7/1PH8系列异步主轴电动机拆装时没有角度位置的要求，且内装型电动机编码器多采用海德汉公司生产的ERN1381/ROD431等增量式编码器，故更换电动机编码器后无需调整参数（若定位不准时可将MCS坐标的

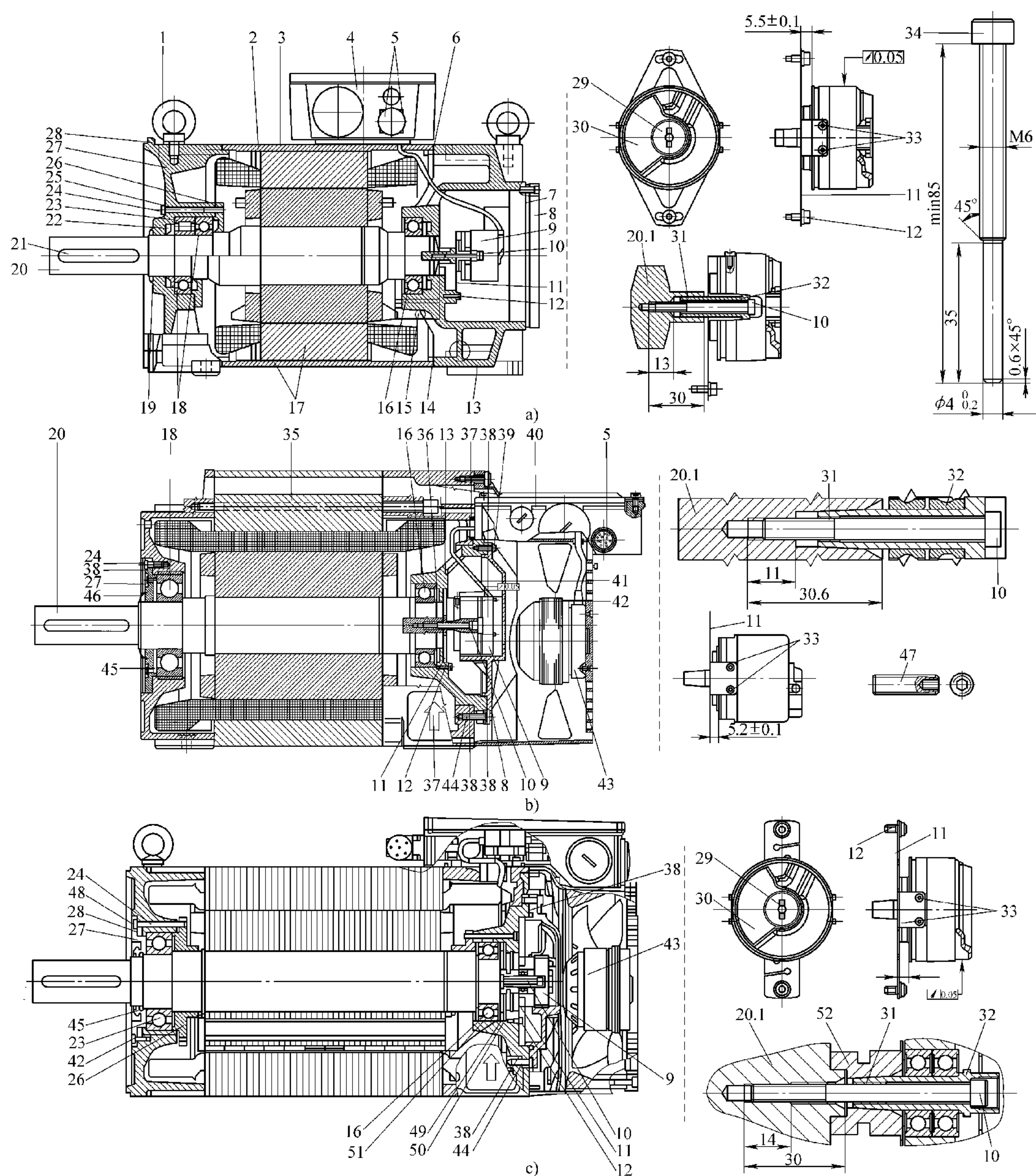


图 3-89 1PH4/1PH7/1PH8 系列异步主轴电动机及其编码器的更换

a）1PH4 系列异步主轴电动机结构图及其与电动机编码器的连接

b）1PH7 系列异步主轴电动机结构图及其与电动机编码器的连接

c）1PH8 系列异步主轴电动机结构图及其与电动机编码器的连接

1—吊环螺栓 2—电动机功率铭牌 3—紧固螺钉 4—端子盒总成 5—信号插头或 DRIVE－CLiQ 接口 6、22、25—密封圈 7—密封件 8—盖板 9—编码器 ERN1381/ROD431 10—编码器螺钉 11—转矩支架 12—转矩支架螺钉 13—非驱动端轴承端盖 14、28、38—O 形圈 15—弹簧垫圈 16—非驱动端支承轴承 17—带叠片的外壳 18—驱动端支承轴承 1 19—密封片 20—带电动机心轴的笼型转子（20.1—电动机心轴） 21—键 DIN6885 23—驱动端支承轴承 2 24—轴承盖板螺钉 26—内部轴承盖 27—轴承盖板 29—插头盖板螺钉 30—插头盖板 31—电动机心轴上紧固内螺纹 M6 32—编码器轴 33—连接螺钉 34—特制螺钉 35—电动机定子 36—波形弹簧 37—垫圈 39—编码器盖板螺钉 40—风扇模块 41—带绝缘头的电缆 42—螺钉 43—散热风扇 44—轴承端盖螺钉 45—挡圈 46—伽玛环 47—紧定螺钉 DIN913 48—USIT 垫片 49—间隔垫片 50—心轴轴承 51—O 形圈轴承 52—锥面转接头

相反数值输入至该轴的 MD34090：REFP_ MOVE_ DIST_ CORR 中以校正位置)，并在电动机通电就绪后即可转动。

（2）1FT6/1FK6 系列永磁同步伺服电动机编码器的更换　首先通过电动机功率铭牌上订货号 MLFB 第 14 个位置上的字母来确定 1FT6/1FK6 系列永磁同步电动机所使用的编码器类型，或者在 802Dsl/810D/840D/840Dsl 等 SINUMERIK 系统的屏幕上通过查询轴专用机床数据 MD30240：ENC_ TYPE（实际值传感类型）来判断电动机编码器的类型（当 MD30240：ENC_ TYPE 等于 0 时为虚拟轴，等于 1 时为高分辨率的 sin/cos 1Vpp 增量式编码器，等于 4 时为带 EnDat 接口的绝对式编码器)。

1）ERN1387/EQN1325 型电动机编码器的拆卸步骤（见图 3-90)：切断机床电源→拆掉动力电缆和信号电缆→把电动机从机床上拆下来放至工作台案上（拆卸和搬运电动机时务必做到轻拿轻放和防止碰撞，且编码器部位严禁用锤敲击以免损坏编码器内的光学元件和抱闸制动器）→若电动机安装有风扇单元则需将其拆掉→用内六方扳手拧开电动机尾部防护盖板上的四个螺栓后拆下防护盖板→用十字形螺钉旋具拆掉转矩支架上的 2 个固定小螺钉→保持电动机心轴不动的前提下用内六方扳手拧下与电动机心轴固定的编码器螺钉 1→在原编码器螺钉位置处旋入一个特制螺钉 9 或者先将一个适合的紧定螺钉 5（M5 ×45）旋入电动机心轴，再旋入一个长度适宜的 M6 螺钉 4（M6 ×50）→将待更换的编码器 6 自电动机心轴上顶下来→拆掉特制螺钉 9 或紧定螺钉 5 与 M6 螺钉 4→拧开插头盖板螺钉并拆除插头盖板 7→拔出信号电缆的插头→待更换的电动机编码器拆卸完成。

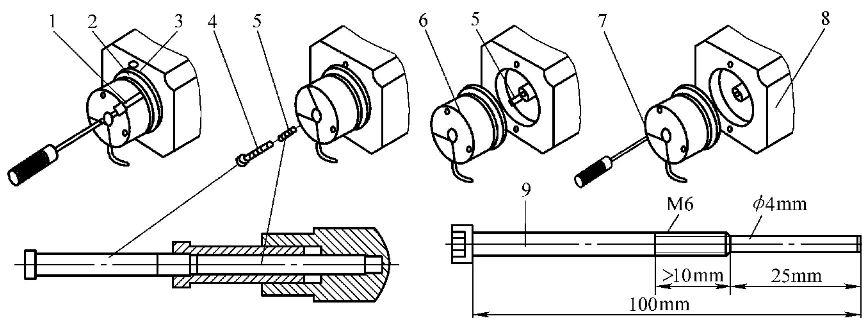


图 3-90　ERN1387/EQN1325 型电动机编码器的拆卸示意图

1—编码器螺钉　2—转矩支架螺钉　3—转矩支架　4—M6 螺钉　5—紧定螺钉 DIN913
6—ERN1387/EQN1325 型编码器　7—插头盖板　8—1FT6/1FK6 同步电动机　9—特制螺钉

2）ERN1387/EQN1325 型电动机编码器的安装步骤

① 选择状态完好的同规格新编码器，用 4 个螺钉（M2.5 ×6）将转矩支架 1（其外形随电动机型号的不同而有所差异，见图 3-91a）固定至新编码器端部（注意转矩支架与编码器底面之间的距离，并使两者保持平行以免在旋转过程中损坏转矩支架和编码器轴)，并用螺纹锁固剂（如乐泰 243）进行加固以防松脱。

② 依据电动机型号，用手转动电动机心轴 5 使其上的标记 4 调整至图 3-91b 中箭头所示位置（电动机型号不同，电动机心轴上的标记位置也不同)，也就是标记 4 与转矩支架的小孔 6 保持一致（不一致时通电试车将出现飞车事故，进而导致电动机报废或机械部件损坏)。若为垂直轴电动机，因其内部装有抱闸制动器使得断电状态下无法用手转动电动机心轴，故在调整电动机心轴上的标记之前还需在抱闸制动器的接线端子上外加一个 DC24V 电源（电源极性接反时抱闸制动器将不能释放)。

③ 拆开新编码器的插头盖板后对编码器进行调整，使 ERN1387 型增量式编码器内部玻璃码盘上的标记 7 调整至与电路板上的标记 8 重合，使 EQN1325 型绝对式编码器内部齿轮上的标记 9 调整至与外壳上的标记 10 重合，如图 3-91c 所示。若标记对偏，通电试车时将在 SINUMERIK 810D/

840D 系统屏幕上呈现“26020：轴%1 编码器%2 初始化时硬件出错，错误代码%3”和“300505：轴%1 驱动%5 电动机测量系统的光学编码器出错，错误代码%3”等报警或出现飞车事故。

④ 在保证信号电缆出口正确的前提下（电动机型号不同，编码器信号电缆的出口位置也不同，见图 3-91d），将标记已调整好的新编码器（锥形轴）安装至标记已对齐的电动机心轴（尾部内锥孔）上。

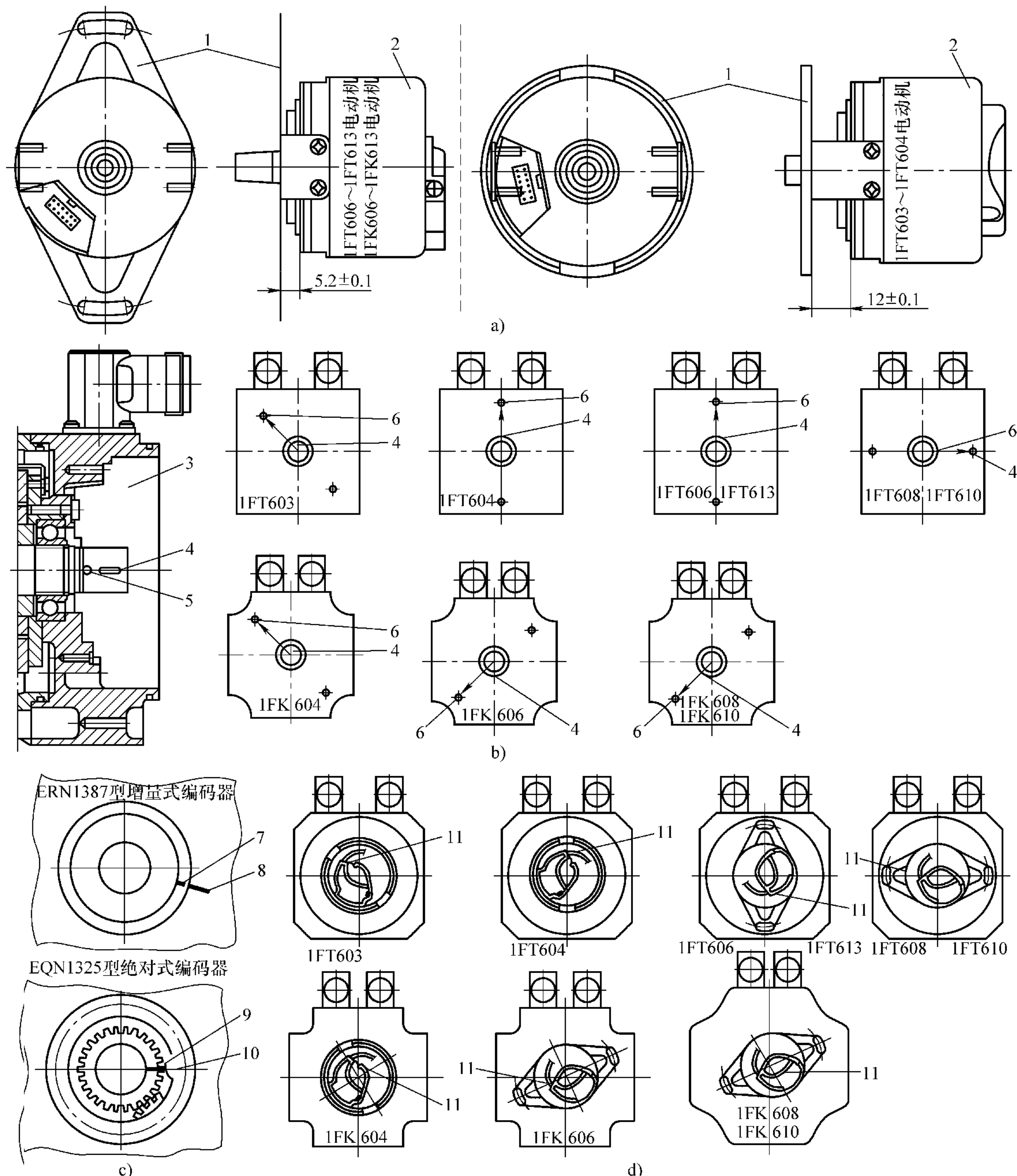


图 3-91　ERN1387/EQN1325 型电动机编码器的安装示意图

a）转矩支架固定于电动机编码器端部　b）手转电动机心轴使标记与转矩支架小孔对齐

c）调整编码器使标记对齐　d）安装编码器时确保信号电缆的出口正确

1—转矩支架　2—电动机编码器　3—同步电动机　4—标记（箭头）　5—电动机心轴　6—转矩支架上的小孔

7—玻璃码盘上的标记　8—电路板上的标记　9—齿轮上的标记　10—外壳上的标记　11—信号电缆

⑤ 在保证编码器不转的情况下使用 M5×50 和 M5×70 的编码器螺钉以适当的转矩分别将 ERN1387 型增量式编码器和 EQN1325 型绝对式编码器进行紧固→用 2 个转矩支架螺钉将转矩支架固定至电动机非驱动端的轴承端盖上，并通过千分表测量使编码器的径向振幅不超过 0.05mm→压入插头电缆的金属管套→插入信号电缆插头，并将电缆置入电缆导管中→用插头盖板螺钉紧固插头盖板，并用螺纹锁固剂进行加固以防松脱。

⑥ 编码器安装完毕后合上电动机尾部的防护盖板→在工作台案上连接好电动机的动力电缆和信号电缆以进行电动机空载试验→接通机床电源，待机床启动方式组就绪后点动控制电动机旋转（一只手控制点动按钮，另一只手置于急停按钮侧以准备异常时随时拍下该按钮）→若电动机能正常转动且无报警和飞车现象，则说明编码器安装成功→否则还需将编码器拆下重新进行安装。

⑦ 将空载试验没有问题的电动机安装至机床上，然后执行返回参考点操作（增量式编码器每次开机均需回参考点，绝对式编码器仅在更换编码器后回一次参考点）；但绝对式编码器返回参考点之前需要调整部分机床数据后方可执行返回参考点操作。SINUMERIK 840D 系统的机床数据调整（以 *Z* 轴为例）：JOG 方式下移动该轴至机床参考点处→设定 MD34210 ENC_REFP_STATE[0]=0 并重置 NCK→设定 MD34090 REFP_MOVE_DIST_CORR[0]=0 并重置 NCK→将 MCS 坐标的相反数值输入至 MD34090[0]中使 MD34210[0]=2 并重置 NCK→重新开机后正常执行返回参考点操作即可。

（3）1FT7/1FK7 系列永磁同步伺服电动机编码器的更换　如图 3-92 所示。

1）电动机编码器的拆卸步骤：切断机床电源→拆掉编码器的 4 个紧固螺钉 2→将待更换的编码器 1 连同联轴单元 3 一起拆除。

2）电动机编码器的安装步骤：选择状态完好的同规格新编码器（带 DRIVE－CLiQ 接口的电动机必须保证新编码器的电动机数据/电子铭牌与电动机是配套的，否则电动机可能会执行不受控的运动甚至导致重大财产损失。购买编码器时可将订货号和序列号告知西门子公司并由其负责将电动机数据预先写入编码器中）和联轴单元→将新联轴单元推入编码器中心轴的联轴套筒中→然后将联轴单元与新编码器一起安装至电动机心轴 4 上（对准电动机上的连接元件）→以 2.5～3N·m 转矩拧紧 4 个紧固螺钉 2 以固定好编码器→一切就绪后接通机床电源，并执行参考点返回操作（增量式编码器每次开机均需回参考点，绝对式编码器仅在更换编码器后回一次参考点）即可。

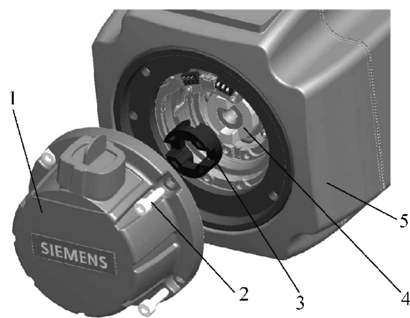


图 3-92　1FT7/1FK7 系列永磁同步伺服电动机编码器的更换
1—编码器　2—紧固螺钉　3—联轴单元
4—电动机心轴　5—1FT7/1FK7 同步电动机

3.3.4　分离型检测装置（光栅尺）的报警及故障维修

数控机床上的分离型检测装置（光栅尺）有以下作用：一是通过信号电缆将其检测的位置数据反馈至 611U/UE 驱动系统的功率模块（接口 X412）中，再经 Profibus 现场总线自功率模块的 X423 接口传输至 802D 系统（接口 X4）中；二是通过信号电缆将其检测的位置数据反馈至 611D 驱动系统的功率模块（单轴模块无接口 X422）中，再经 DRIVE－Bus 总线采用 DPR 通信自功率模块的驱动总线接口 X141 传输至 SINUMERIK 840D 系统的 NCU 模块（接口 X130A）中；三是通过信号电缆将其检测的各伺服轴位置数据先分别传输至编码器转换模块 SMC20，再由 S120

书本型电动机模块将来自 SMC20 的数据通过 DRIVE－CLiQ 电缆反馈至 802Dsl 或 840Dsl 系统中进行处理（见图 3-93a）；四是通过信号电缆将其检测的各伺服轴位置数据先分别传输至编码器转换模块 SMx20（x 为 C 或 E），再经 SMx20 的接口 X500 通过 DRIVE－CLiQ 电缆将数据传输至集线器模块 DMC20 的接口 X501～X505（每个接口对应一根伺服轴），然后由端子模块 TM54F 将来自 DMC20 的数据通过 DRIVE－CLiQ 电缆反馈至 828D 系统中进行处理（见图 3-93b）。当分离型检测装置（光栅尺）的位置数据传输出错或存在异常时，在 SINUMERIK 系统的屏幕上会呈现相应的报警代码及报警信息（见表 3-10）。

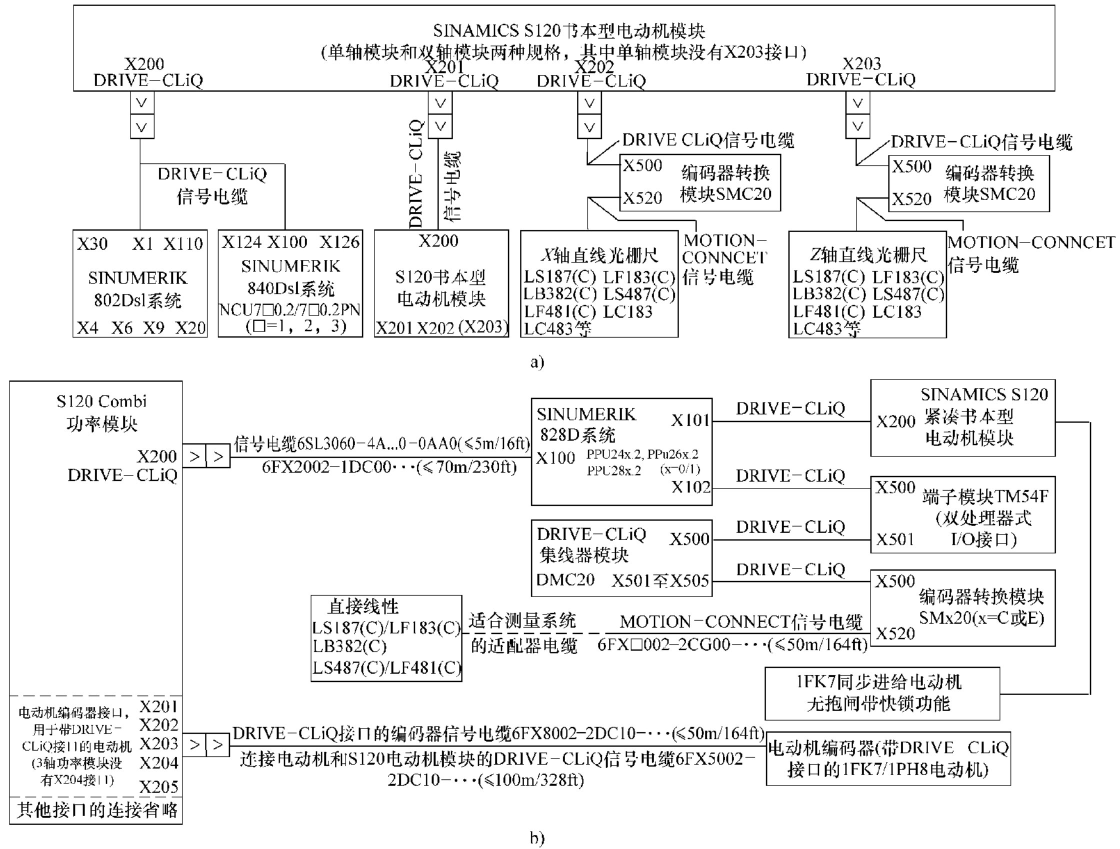


图 3-93 SINUMERIK 系统中直线光栅尺位置数据的传递

a）直线光栅尺在 SINUMERIK 802Dsl/840Dsl 系统和 SINAMICS S120 驱动器中的连接

b）直线光栅尺在 SINUMERIK 828D 系统和 SINAMICS S120 Combi 驱动器中的连接

表 3-10 SINUMERIK 802Dsl/828D/840D/840Dsl 系统中直线光栅尺的报警代码及排除方法

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25000	轴% 1 的主动编码器硬件出错	当前有效的位置实际值编码器的信号丢失，无相同相位或显示接地/短路迹象	1）在屏幕的 PLC 状态显示画面检查 PLC 至 NCK 的接口信号 DB3n. DBX1. 5（测量系统 1）和 DB3n. DBX1. 6（测量系统 2），正常为 1 2）检查测量电路的插头接触是否良好、编码器电缆的完好状态（破损或进水、有短路等）、测量系统自身的完好状态（碰伤、划伤或污物进入等）

（续）

报警代码	报警内容	报警原因	排除方法
25010	轴%1测量系统信号不良	具有污染信号的测量系统中，用于位置控制的编码器发出1个污染信号	据所选用测量设备的维护说明，检查测量系统，排除污染或整体更换
25020	轴%1编码器零标志监控	2个零标志脉冲之间的位置编码器脉冲被计算（硬件功能），插补循环格（标准设置为4ms）检查编码器在2个零标志脉冲之间总是发出同样的脉冲，一旦计数器的4个最低有效位中记录到差别就会触发此报警	1）传输路径：检查光栅和进给驱动模块上实际值插头是否良好、编码器电缆的导通性及短路或对地情况 2）编码器脉冲：编码器电源是否在允差极限内 3）计算线路：更换或重新配置所用驱动模块 4）设定MD36310 ENC_ ZERO_ MONITORING［n］=0断开零标志监控，n=1和2
25100	轴%1测量系统不能切换	因所要求切换的编码器不满足如下条件而触发此报警： 1）所选编码器均处于有效状态，即DB3n. DBX1. 5=1或DB3n. DBX1. 6=1 2）两个编码器之间的实际值之差大于MD36500 ENC_ CHANGE_ TOL（位置实际值切换的最大允差）的设定值	只要接口信号DB3n. DBX1. 5和DB3n. DBX1. 6发生改变，就进行位置测量系统切换；均为1时仅第1测量系统有效，均为0时轴停止。维修人员应检查编码器信号、实际值电缆和连接插头；检查机械紧固件（如测量头位移或可能产生的机械扭绞等）；增大MD36500以提高位置实际值切换的最大允差
25105	轴%1编码器位置公差超出	在编码器数参数MD30200 NUM_ ENCS=2和设置了参考点功能时，若2个测量系统明显不同，即2个测量系统之间循环监控的实际数值差别大于MD36510 ENC_ DIEF_ TOL（测量系统的同步公差）的设定值，则会触发此报警	检查机床数据中所选的有效编码器：适当调整MD36510以改变测量系统的同步公差等
25110	轴1%所选编码器不存在	所选择的编码器与MD30200 NUM_ ENCS中的编码器最大数量不对应，即第2个编码器不存在	修正MD30200（编码器数）的值：0为坐标轴不使用编码器，1为坐标轴使用1个编码器，2为坐标轴使用直接、间接2个测量系统
26002	轴%1编码器%2用于伺服的分辨率和位置控制分辨率出错	带EnDat接口的绝对式测量系统（MD30240 ENC_ TYPE=4）：在直线测量系统（$MA_ ENC_ IS_ LINEAR=TRUE）中，MD1022/MD1005≠4×n和MD1032/MD1007≠4×n时，触发此报警，其中n=1，2，3，…	修正以下机床数据： MD1005 ENC_ RESOL_ MOTOR（电动机测量系统编码器增量） MD1022 ENC_ ABS_ RESOL_ MOTOR（电动机绝对值轨迹的测量步骤） MD1007 ENC_ RESOL_ DIRECT（直接测量系统的编码器增量） MD1032 ENC_ ABS_ RESOL_ DIRECT（绝对值轨迹DM的测量步骤）
26004	轴%1直线光栅的栅格距离无效	MD31010 ENC_ GRID_ POINT_ DIST（光栅尺栅格距离）=0	据所选用直线光栅尺，修正MD31010

（续）

报警代码	报 警 内 容	报 警 原 因	排 除 方 法
300738	轴%1 驱动%5 编码器模块编号不允许	在 810D 系统中，NC 将直接测量系统赋予给一个不具备电动机测量系统的轴	1）检查直接测量系统的配置 2）修正以下机床数据： MD30220 ENC_ MODULE_ NR（实际值指定：驱动器号/测量电路号） MD30230 ENC_ INPUT_ NR（实际值指定：输入到驱动器子模块/测量电路板）
300739	轴%1 驱动%5 编码器已被用作电动机测量系统	在 810D 系统中，NC 将直接测量赋予给一个测量系统输出，但该输出已被另一个电动机测量系统使用	
300740	轴%1 驱动%5 编码器重复使用		
301704	轴%1 驱动%5 光栅尺与极对数不匹配	直线电动机时编码器位置对应于一个或 x 个电极对宽度不为整数或所计算的内容编码器位置值过高，则触发报警。如电极对宽度 56.8mm、刻度 2.7μm 且电极对数量为 1 时，编码器位置 = 电极对宽度 ÷ 分度 = 21037.037 而出错报警；输入电极对宽度 56.7999 或编码器位置 = 21037.0 时不存在误差而无报警	直线电动机时电极对宽度和刻度数据被用来计算等效（内部）电极对数量和编码器位置，此时编码器位置对应于一个或 x 个电极对宽度必须为整数。较长的移动轨迹时，可使用编码器刻度与 x 个极对宽度相匹配为整数的长度测量系统；较短的移动轨迹时，若编码器位置不在 ±0.001mm 允差内，则仅累加较小的误差值且不会造成发热和达到最大功率，此时最好修改电极对的宽度
301705	轴%1 驱动%5 带位置编码参考标志的光栅尺的机床数据错误	选择距离码光栅尺（MD1011.7 = 1）时，必须配置一个长度测量系统（MD1011.4 = 1）；此外 MD1040/MD1041/MD1042 不能为 0 或负数	修正机床数据 MD1011 ACTUAL_ VALUE_ CONFIG（实际值传感 IM 的配置），并将 MD1040，MD1041 和 MD1042 设为非零值或非负数值

注：%1 为轴名称或主轴号，%2 为编码器号码，%3 为错误精确编码，%4 为编码器类型/输出类型，%5 为驱动号，%6 为测量电路号。

1. 直线光栅尺常见故障及处理方法

（1）维护不当或光栅尺密封不良造成光栅尺被污染（见图 3-94） 光栅尺被污染的原因多为机床切削液、液压油或油脂直接进入，以及粉尘、油雾或水雾浸入等。据约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司的维修统计，污染因素占光栅尺故障因素的 63%，因此非常有必要采取以下措施避免光栅尺被污染：①在光栅尺外面加装防护罩用于避免油污浸入；②保持环境清洁并定期清理光栅尺防护罩下面的灰尘和金属碎屑；③对光栅尺使用的压缩空气增加带干燥功能的精过滤装置（如 DA300）用来防止油水冷凝，避免读数故障；④定期检查并更换光栅尺的密封唇条。

（2）光栅尺安装不当造成其机械部分损坏（见图 3-95） 光栅尺损毁主要是读数头、光栅尺外壳、玻璃标尺光栅及多段光栅尺的钢带标尺光栅等部件的损坏。据约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司的维修统计，安装不当因素占光栅尺故障因素的 20%。维修人员应当严格按照《光栅尺安装说明书》的要求，认真细致安装光栅尺，用千分表检查安装基面等部位的平行度和垂直度；采用光栅尺制造厂家提供的读数头专用卡具，辅助安装读数头以确保读数头与光栅尺外壳配合的位置正确。有条件的话，可借助专业检测仪（如海德汉的 PWM9）检测光栅尺的安装是否正确。

（3）光栅尺读数头光源及电路、电缆损坏如图 3-96 所示。

1）导致读数头光源或电路损坏的原因：读数头的电路被电源瞬间高压冲击损坏，光栅尺电

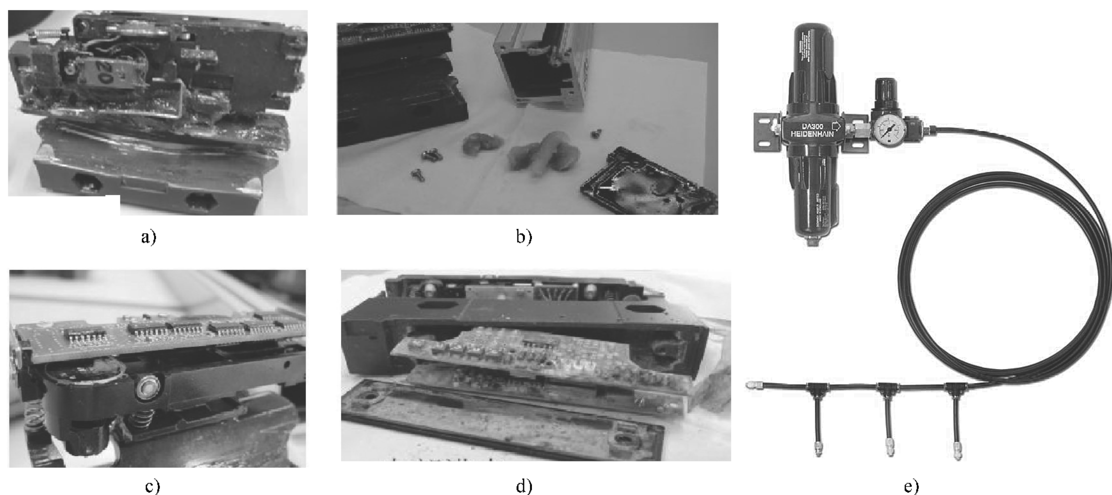


图 3-94　维护不当或光栅尺密封不良造成光栅尺被污染的实例

a）读数头油污严重　b）光栅尺密封失效致油脂进入　c）外壳进油致读数头电路板污染
d）向读数头吹气的风内含水严重　e）带干燥功能的精过滤装置 DA300

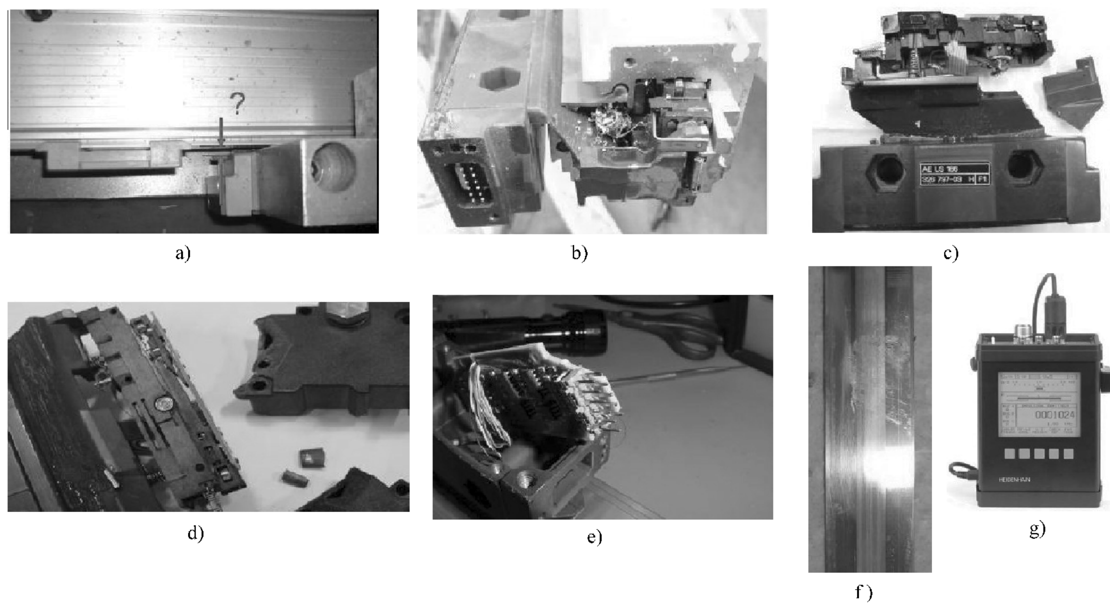


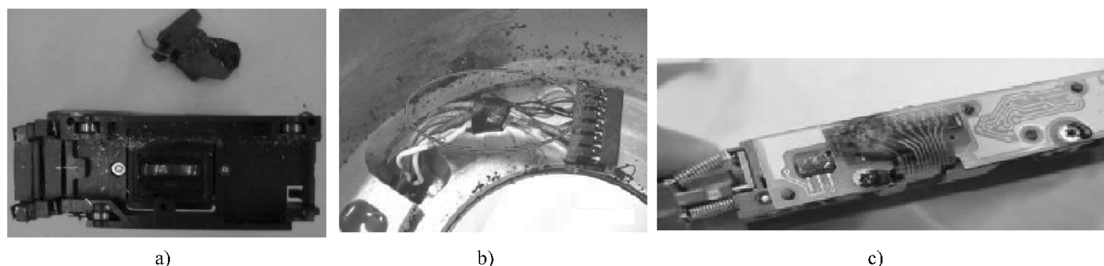
图 3-95　光栅尺安装不当造成其机械部分损坏严重的实例

a）读数头与外壳间的间隙（1.5±0.3）mm　b）间隙未保证造成读数头与外壳摩擦产生铝屑
c）安装不正导致读数头基体碎裂　d）安装不正导致读数头机架碎裂严重
e）野蛮插接导致读数头电缆插头针脚折断　f）钢基标尺光栅划伤导致报废　g）PWM9 检测仪

缆线接错（如电源 +、- 接反）致电路短路，或读数头电路板上存在导电异物而致电路短路。此时应检查光栅尺的供电电源电压 DC +5V 是否正常，读数头电路板是否清洁干燥等。

2）电缆损坏可能导致电路短路、无信号、信号幅值低或信号干扰等故障，此时应检查电缆插头是否正确连接，电缆的外部有无损伤（破损或挤压等）。可用新电缆测试光栅尺信号是

否正常。

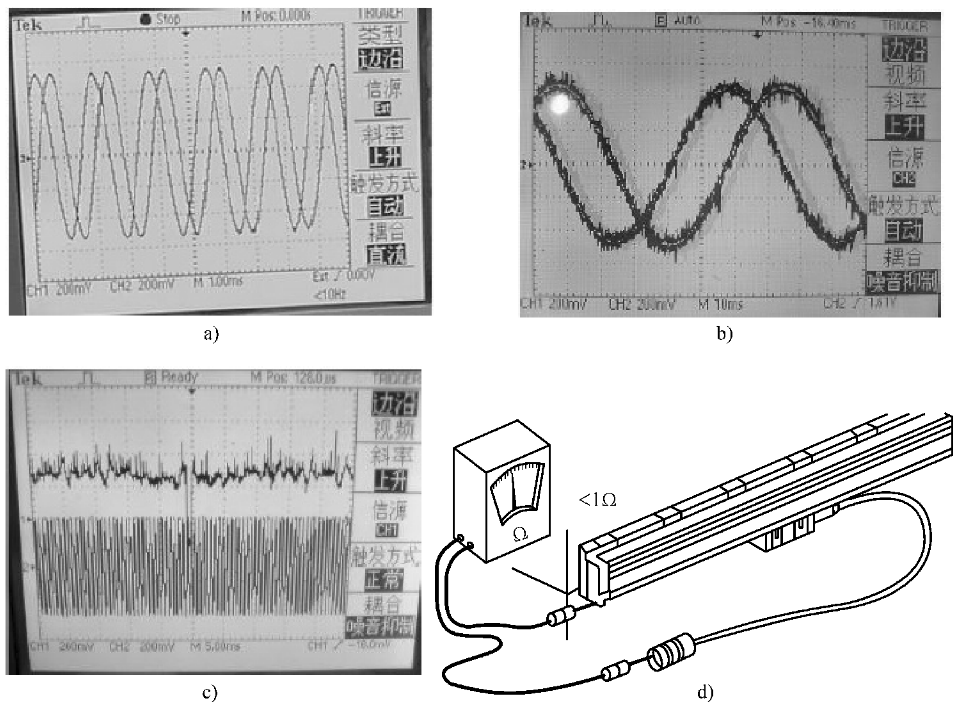


a) b) c)

图 3-96 光栅尺读数头光源及电路、电缆损坏的实例

a）读数头光源区被污染 b）接线错误导致线路板烧毁 c）光电扫描线路板烧毁（污染或接线错误致短路）

（4）因光栅尺接地、屏蔽等导致反馈信号被干扰（见图 3-97） 反馈信号被干扰一般与光栅尺电缆的屏蔽、信号电缆与交流强电布线不合理、机床接地不合理、系统供电主电路的滤波不良等有关，它会造成机床出现伺服轴位置漂移、跟随误差大或定位不稳定。此时应检查电缆屏蔽、电缆布线方式、机床接地或系统主电路滤波以及光栅尺的接地电阻（应小于 1Ω）。除以上几点外，还可能由于光栅尺安装基面和支架的机械结构不正确、光栅尺故障、机床进给伺服的参数未调整好或机床机械故障（滚珠丝杠螺母副或导轨副磨损）等，也会导致数控机床出现强烈得振动现象。



a) b) c) d)

图 3-97 因光栅尺接地、屏蔽等导致反馈信号被干扰

a）正常的输出信号 b）有干扰的输出信号（自动触发方式）

c）有干扰的输出信号（正常触发方式） d）检测接地电阻小于 1Ω

2. 直线光栅尺的屏蔽与激活（全闭环与半闭环的控制转换）

通常，直线光栅尺在数控机床上作为第 2 测量系统（此时电动机内装型编码器作为第 1 测量系统以测量速度和识别转子位置）对工作台等直线位移进行直接测量，以实现进给伺服系统的全闭环控制（见图 3-98）。但是在数控机床的实际检修过程中，常常需要屏蔽掉进给轴的直线光栅尺使机床的进给伺服由全闭环控制转为半闭环控制，以确认是否由直线光栅尺的问题而引起机床故障。下面以 PF6 – S2500 数控磨床为例，介绍其 *Z* 进给轴光栅尺屏蔽与激活。

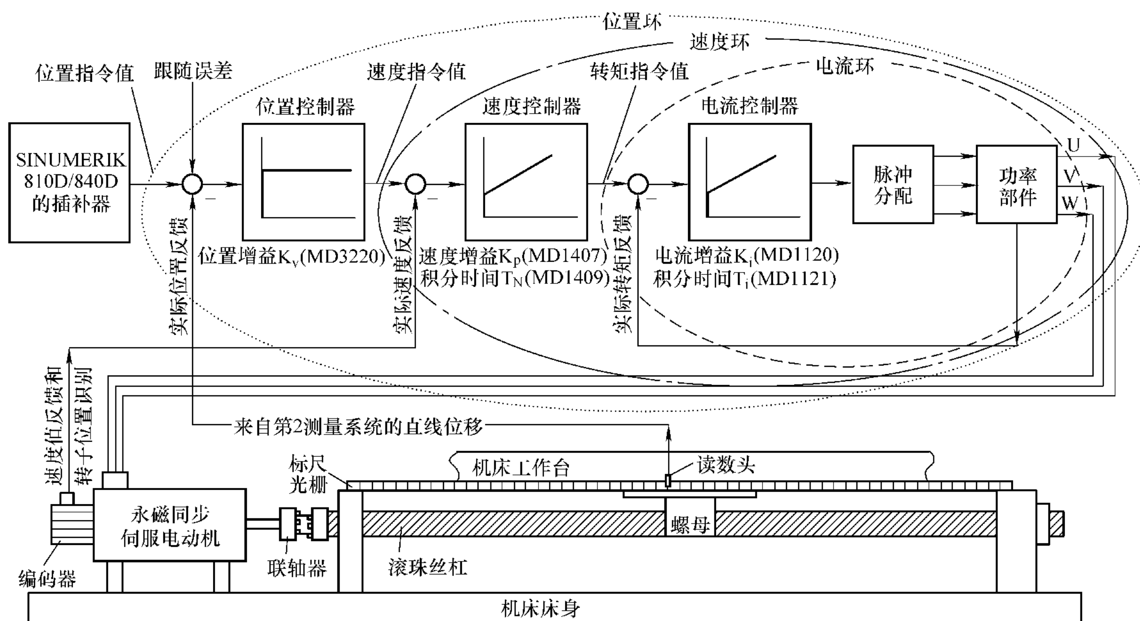


图 3-98　数控机床（611D 驱动系统）进给轴的全闭环控制方式示意图

注：速度环还包含伺服电动机及电动机编码器；位置环包含伺服电动机和直线光栅尺。

（1）PF6 – S2500 数控磨床 *Z* 进给轴的控制（见图 3-99）　该磨床的 *Z* 进给轴在 611D 进给驱动模块控制 1FK7083 – 5AF71 – 1AG2 同步电动机旋转的前提下通过同步带传动耦合而实现机床工作台的横向往复移动，其运转速度和转子位置是通过内装型 sin/cos 1Vpp 增量式编码器以第 1 测量系统的形式间接获取的，并通过一根带 17 芯法兰插座的 MOTION – CONNECT 信号电缆传送至进给驱动模块的控制板上（X412 接口）。而工作台的直线位移是通过海德汉 LB382_ C 钢基直线光栅尺（带距离码的）以第 2 测量系统的形式直接获取的。这些位置数据先通过一根带 12 芯 M23 连接器的海德汉屏蔽电缆反馈至进给驱动模块的控制板上（X422 接口），再经由 DRIVE – Bus 总线采用 DPR 通信自 611D 的驱动总线接口回传至 SINUMERIK 840D 系统的 NCU571.5 模块中，以进行指令位置和实际位置的差值比较，从而实现工作台位移的精确控制。然而该磨床在运用过程中 *Z* 轴移动和静止时均出现“25000：轴 MZ 的主动编码器硬件出错”和“25001：轴 MZ 的从动编码器硬件出错”报警（有时仅为 2 个报警中的任意 1 个，有时 2 个同时出现）。通常造成这 2 个报警的原因有电动机编码器信号电缆短路，光栅尺屏蔽电缆短路，光栅尺的读数头污染或损坏，光栅尺的标尺光栅损坏，611D 轴控制板故障，电动机编码器故障等。

（2）屏蔽 *Z* 轴直线光栅尺的必要性　理论上可按照由外到内和由简单到复杂的原则，采用备板置换（替代）法和交换（同类对调）法对可能造成报警的原因——611D 轴控制板和信号电缆/屏蔽电缆及位置检测装置逐一进行排查，以确定导致报警的原因。但作为单一（即仅此 1

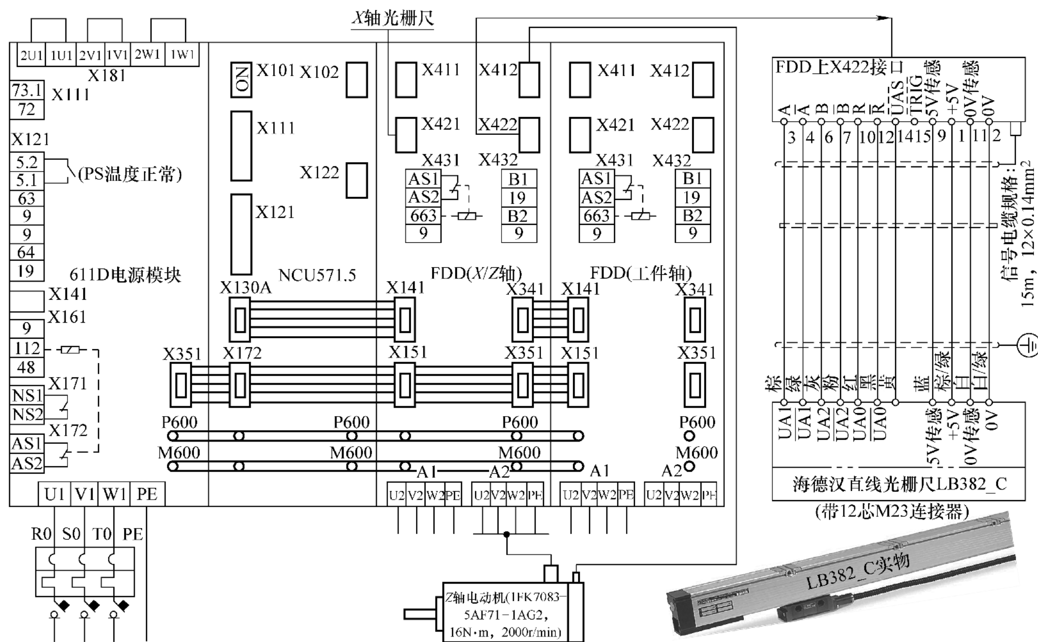


图 3-99 PF6 - S2500 数控磨床 Z 轴直线光栅尺的连接

台）关键型（即处于产品质量要求非常高的瓶颈环节，且无法用其他机床替代）的高精密数控机床，一是现场没有类型相同的机床来提供同规格的轴控制板等部件以用于同类交换，二是价格昂贵的直线光栅尺（如 LB382_ C 光栅尺的标尺光栅为 2 ~ 3. 5 万元/米）等精密部件在机床用户处多为零库存以致无法进行备件置换，三是进口型精密部件的购买周期较长（3 ~ 6 个月）以致故障机床不能长时间处于停机状态（如国内某铁路货车生产企业因单一关键型 SIMMONS480 - 2 轴成形数控磨床的修整机构损坏无法修复，且配件淘汰已不再生产，而被迫全厂性停产达 50 天之久，可谓损失惨重）。由此要求维修人员必须通过屏蔽光栅尺等极简便方法来找到机床出现报警的原因，才能向企业提出精密昂贵部件的购买申请，否则既对自己造成不良的影响，又给企业带来浪费性的购置损失。

（3）屏蔽 Z 轴直线光栅尺（将 Z 轴伺服控制方式由全闭环转为半闭环）的步骤

1）输入允许的口令：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→依次按［Start - up/启动］水平软键及［Password. . . ］和［Set password］垂直软键进入密码输入画面→输入 SUNRISE 口令后按下［OK］垂直软键。

2）系列备份 NC 数据和 PLC 数据以便后续恢复：按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service/服务］、最右侧扩展键［ > ］（又称 ETC 键）和［Series Start - up/批量调试］水平软键→显示数据的系列备份画面→在画面中分别选择存档内容 MMC、NC（同时选中螺距误差补偿）和 PLC，并用系统默认的文件名再加上日期来定义文档名称→从右侧的垂直菜单中选择［Archive/硬盘］或［NC Card］作为存储目标（选择［V24］或［PG］时应按［Interface］软键以设定 V24 接口参数）→按下［Start］垂直软键开始数据的系列备份。

3）修改与测量系统切换有关的机床数据：按［Menu Select］区域转换键→依次按［Start - up/启动］、［Machine Data/机床数据］和［Axis - specific Machine Data］水平软键→进入轴专用机床数据界面→按［Axis + ］或［Axis - ］垂直软键选择 Z 进给轴→顺序找到表 3-11 所示的 7 个机床数据后进行修改（结合机床的配置情况）。

表3-11 屏蔽Z轴直线光栅尺（PF6－S2500数控磨床）涉及的机床数据

序号	机床数据号	机床数据名称	全闭环控制时的值	半闭环控制时的值	设定值说明
1	MD30200	NUM_ ENCS 编码器（测量系统）数量	2	1	=2：两个测量系统，编码器为测量系统1，直线光栅尺为测量系统2 =1：一个测量系统，即编码器
2	MD30230	ENC_ INPUT_ NR［0］ 实际值输入至驱动模块的上部/下部	2	1	=2：实际值输入至驱动模块的下部/测量电路板，即光栅尺接在X422接口 =1：实际值输入至驱动模块的上部/611D子模块，即编码器接在X412接口
3	MD31000	ENC_ IS_ LINEAR［0］ 直接测量系统（光栅尺）	1	0	=1：外部测量为光栅尺（直接测量系统） =0：直接测量系统无效，测量元件为旋转式编码器
4	MD31010	ENC_ GRID_ POINT_ DIST［0］ 光栅尺的分割点（栅距）	0.02	—	该参数仅用于直接测量系统，对电动机测量系统无意义
5	MD31020	ENC_ RESOL［0］ 电动机编码器的线数	—	2048	该参数仅用于电动机测量系统，对直接测量系统无意义
6	MD31040	ENC_ IS_ DIRECT［0］ 实际值检测编码器直接安装在机床上	1	0	=1：用于实际值检测的直接测量系统直接安在机床上 =0：用于实际值检测的编码器安在电动机上（非直接连接）
7	MD32110	ENC_ FEEDBACK_ POL［0］ 实际值极性（控制方向）	－1	1	=0或1：位置环的反馈极性不变更 =－1：位置环的反馈极性取反

4）修改与测量系统切换有关的PLC信号（见图3-100）：通过按下机床制造商提供的［测量系统切换］按键，或者修改机床数据MD14512：USER_ DATA_ HEX［n］（n＝0～31），或者设定用户数据块的某个位，将PLC中已激活的测量系统2/直线光栅尺的接口信号DBn. DBX1.6由“1”置“0”，同时将未激活的测量系统1/电动机编码器的接口信号DB3n. DBX1.5由“0”置“1”。在本例中仅需使DB20. DBX20.1由“1”置“0”即可实现Z轴测量系统的切换。

5）重新建立机床参考点的位置：第2测量系统是由光栅尺的标记位（如海德汉光栅尺上所刻的距离编码参考点标记）来确立机床参考点的，当切换为第1测量系统时，机床参考点将由电动机内装型编码器来建立。由此导致工件坐标系等发生变化，这就要求操作者必须基于新的机床参考点进行对刀等操作。

（4）激活Z轴直线光栅尺（将Z轴伺服控制方式由半闭环转为全闭环）的步骤 通过屏蔽光栅尺的操作，维修人员将能准确地判定机床报警是否由光栅尺不良而引起的。如果确定光栅尺存在问题，就得对其进行拆卸修理或购买备件更换。当光栅尺回装到位后，应按照与上述顺序相同的步骤来激活Z轴的直线光栅尺。

```
PF6-S2500数控磨床/FC101“机床控制面板PLC-NCK”
程序段4：PLC向NCK传送测量系统1、2激活信号
   AN   DB20.DBX   20.0   //PLC传给操作者的X轴机床数据
   =    DB31.DBX    1.5   //PLC向NCK传送X轴测量系统1激活信号
   AN   DB20.DBX   20.1   //PLC传给操作者的Z轴机床数据
   =    DB32.DBX    1.5   //PLC向NCK传送Z轴测量系统1激活信号
   AN   DB20.DBX   20.2   //PLC传给操作者的4轴(主轴)机床数据
   =    DB34.DBX    1.5   //PLC向NCK传送4轴测量系统1激活信号

   A    DB20.DBX   20.0   //PLC传给操作者的X轴机床数据
   =    DB31.DBX    1.6   //PLC向NCK传送X轴测量系统2激活信号
   A    DB20.DBX   20.1   //PLC传给操作者的Z轴机床数据
   =    DB32.DBX    1.6   //PLC向NCK传送Z轴测量系统2激活信号
   A    DB20.DBX   20.2   //PLC传给操作者的4轴(主轴)机床数据
   =    DB34.DBX    1.6   //PLC向NCK传送4轴测量系统2激活信号
```

图 3-100　PF6－S2500 数控磨床中测量系统选择控制的 PLC 程序

第4章

数控机床辅助装置及故障维修

由当今数控机床的组成框图（见图4-1）可知，一台数控机床通常由输入/输出装置、数控装置、伺服装置和机床本体及辅助装置等部分组成。作为组成部分之一的辅助装置，是为了提高机床的自动化程度和相关部位的使用寿命及减轻劳动者的工作强度而增加的装置，它主要包括液压系统、润滑系统、气动系统和冷却装置及排屑装置等环节。本章将通过应用实例向读者介绍液压系统、润滑系统、气动系统和冷却装置及排屑装置五个环节的控制过程及其故障维修。

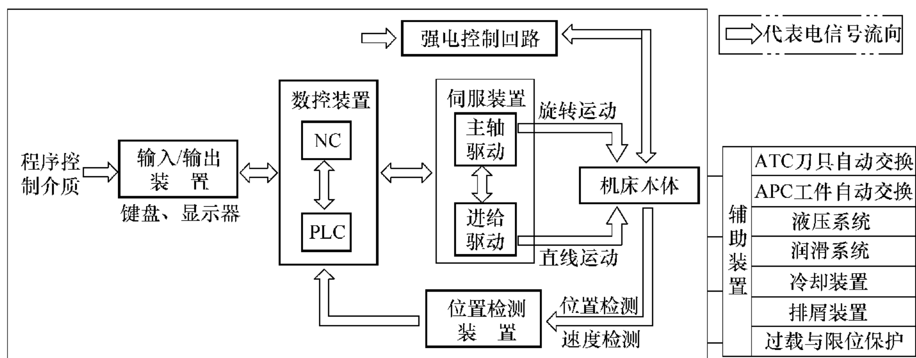


图4-1　数控机床的组成框图

4.1　液压系统及故障

液压系统与数控装置（如SINUMERIK、FANUC或MITSUBISHI等系统）和伺服装置（含驱动电动机和位置检测装置在内的主轴驱动和进给驱动）等环节一样，在数控机床上也具有比较重要的作用。卧式数控车床上的液压卡盘、液压尾座和液压拨叉换挡等，加工中心上主轴箱的重力平衡、主轴刀具夹紧机构（松刀液压缸）、自动换刀装置（如换刀机械手的伸出、退回、回转和摆动）和托盘自动交换装置等，数控磨床上静压导轨和工件自动夹紧/松开装置等，一般均采用数字化逻辑电信号控制的液压系统来实现（见图4-2）。

（1）组成　液压系统是以液体为工作介质，依靠液体的压力和体积分别传递动力和运动的一种装置，它主要由动力元件（液压泵）、执行元件（液压马达或液压缸）、工作介质（液压油）和控制元件（液压控制阀）及辅助元件五部分组成（见图4-3）。其中动力元件是液压系统的动力源，它可将普通三相异步电动机或其他原动机输出的机械能转换为液体的压力能，并向液压系统提供一定流量和压力的液体供应（通常为压力油）；执行元件是在压力油的推动下向外输出运动和速度以驱动工作部件（即负载），从而将液体的压力能转换为机械能；工作介质是实现

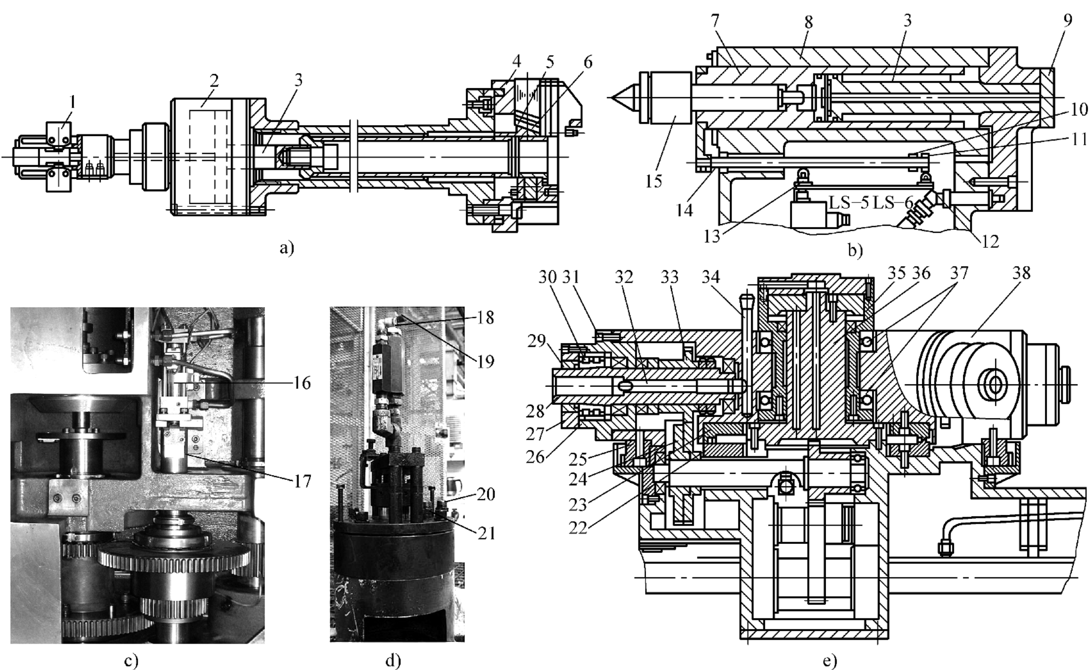


图 4-2 与液压系统相关的数控机床组件（部分）

a）液压驱动自定心卡盘结构图 b）液压尾座结构图 c）液压拨叉控制的 2 级齿轮换挡

d）主轴的刀具夹紧机构 e）卧式八轴转塔头换刀

1—行程开关 2—回转液压缸 3—活塞杆 4—卡盘 5—卡爪 6—驱动爪 7—尾座套筒 8—尾座体

9—备母 10—调整螺母 11—检测定位块 12—套筒伸出极限开关 13—套筒退回极限开关 14—检测杆

15—莫氏顶尖 16—高低挡液压缸 17—换挡拨叉 18—主轴吹屑进气口 19—主轴中心进水口

20—主轴刀具夹紧进油口 21—主轴刀具松开进油口 22、23—离合器 24、25、33—齿轮

26—套筒 27—端盖 28—主轴 29—螺母 30，37—轴承 31—螺钉 32—推动杆

34—操纵杆 35—中心液压缸 36—活塞 38—转塔刀架体

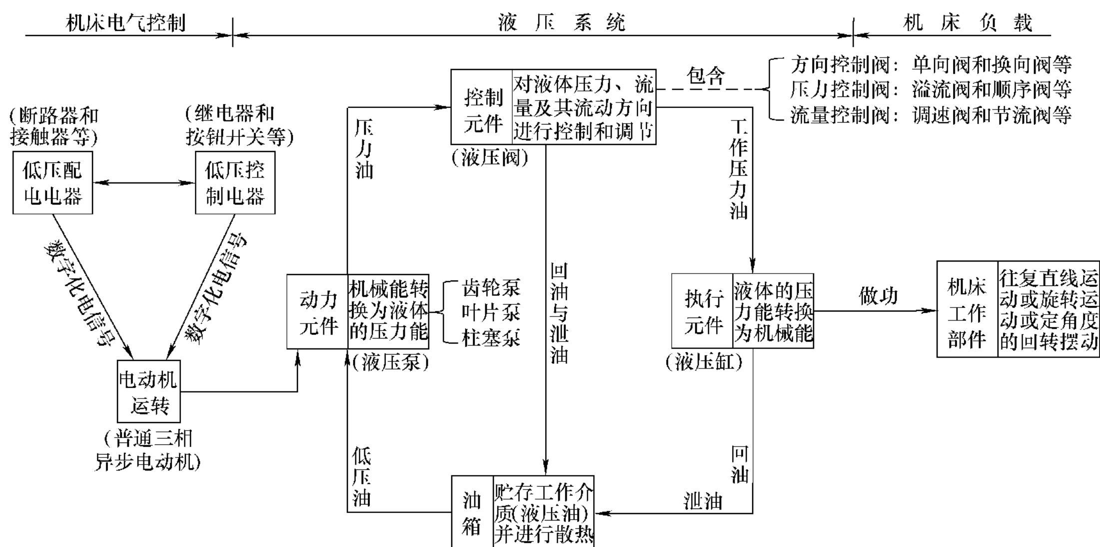


图 4-3 液压系统的组成框图

运动和动力传动的能量传递载体；控制元件是根据数控机床的实际需求，通过数字化电信号等方式对液压系统中的液体压力和流量及液体流动方向进行控制和调节的各种阀类元件；辅助元件指液压系统中分别起散热、输油、连接、过滤、压力测量与流量测量等作用的油箱、过滤器、油管和压力表及流量表等。

（2）液压系统的故障特征　除机床负载的状态不良（断裂、阻滞或磨损严重等）和电气控制部分存在异常（如接触器线圈烧毁或触点因剩磁而不能释放，继电器触点不接通或不断开，控制线路短路或断路等）而导致数控机床的液压系统不能正常工作外，液压系统自身存在问题时也会使其不能正常工作。通常，液压系统的故障特征为油管接头连接处泄漏而导致压力油的流量和压力不足，运动速度不稳定而导致时慢时快的机械负载不能正常动作，液压阀的阀芯卡死或运动不灵活而导致执行元件动作失灵，阻尼小孔被堵而导致系统压力不稳定或压力不能调节，液压阀拆卸后重新组装时漏装弹簧或密封件及油管接错而导致执行元件动作混乱，长期工作使密封件老化和易损件磨损（依据量化的数值标准来判断液压元件的磨损情况，见表 4-1）等而导致系统中内外泄漏量增加、系统工作效率明显下降，液压元件加工质量差或安装质量差而导致液压阀的动作不灵活，因液压油的冷却装置未工作而使油温过高等。对于因设计不完善或不合理而造成液压系统故障的，必须由技术人员进行充分分析计算后方能进行改装和完善。对于操作人员使用、维护和保养不当而使液压元件运转不正常的，可通过开展设备自主保全活动促使操作人员能够围绕“我的设备我维护”目标，按照预先制定的《×××公司设备自主保全标准指导书》（见表 4-2）对自己所操作的数控机床自觉地进行及时清扫、到位点检和全面维护（加油和紧固）等活动并做到持续改善。对于工作过程中液压系统突发的故障，不仅可通过液压原理图（即一张液压元件工作原理简图，它用来表示该系统中各执行元件所能实现的动作循环及控制方式，通常还配有电磁铁动作循环表及工作循环图）采取“抓两头连中间”的方法来分析排除故障，其中“抓两头”是要弄清楚故障是否发生在液压动力元件（液压泵）和液压执行元件（液压缸）本身，“连中间”是要分析故障是否发生在液压泵至液压缸之间的管路和控制元件上；还要借助电气原理图（一般由主回路、控制回路和辅助电路等部分组成），来判定液压系统自一个工作状态转换为另一个工作状态时相关电器元件是否动作及其所需的动作信号是否正常等。从而根据液体的压力、流量和流动方向以及数字化电信号这些特征，即可迅速找出故障的原因并及时排除。

表 4-1　部分液压元件磨损的误差极限

序号	液压元件名称	配合部位	配合间隙/mm	序号	液压元件名称	配合部位	配合间隙/mm
1	中低压齿轮泵	齿顶圆与泵体内孔	0.05～0.10	5	中低压滑阀式换向阀	阀芯与阀孔	$d \leq 16$ 时 0.008～0.025
		轴向间隙	0.04～0.08				$d \leq 28$ 时 0.010～0.030
2	中高压齿轮泵	齿顶圆与泵体内孔	0.05～0.10				$d \leq 50$ 时 0.012～0.035
		轴向间隙	0.03～0.05				$d \leq 80$ 时 0.015～0.040
3	中低压叶片泵	叶片泵与转子槽	0.02～0.03	6	高压滑阀式换向阀	阀芯与阀孔	$d \leq 16$ 时 0.005～0.015
		叶片与配流盘	0.01～0.03				$d \leq 28$ 时 0.007～0.020
		转子与配流盘	0.02～0.04				$d \leq 50$ 时 0.009～0.025
4	轴向柱塞泵	柱塞与缸体内孔	$d \leq 16$ 时 0.01～0.02				$d \leq 80$ 时 0.011～0.030
			$d \leq 20$ 时 0.015～0.03				
			$d \leq 35$ 时 0.02～0.04				
		配油盘与缸体	0.01～0.02				

注：低压为 0.25～2.5MPa，中压为 2.5～8MPa，中高压为 8～16MPa，高压为 16～32MPa，超高压为大于 32MPa。

表 4-2 《×××公司设备自主保全标准指导书》示例

×××公司	设备自主保全标准指导书	设备名称	设备编号	设备型号	主管	班长	制表部门	制表	更新日期
		立式加工中心		CVM610A					2012.08.10

点检标准书

点检简图	序号	部位	负责人	标准	要点	方法	周期	时间/s	目的明确化
	1	液压系统压力	操作者	压力表绿区范围内	异常通知维修	目视确认	每班班前	10	保证设备正常工作
	2	液压系统油位	操作者	油镜上下线之间	异常通知润滑工	目视确认	每班班前	10	保证液压系统正常工作
	3	润滑系统压力	操作者	压力表绿区范围内	异常通知维修	按强制润滑按钮目视	每班班前	10	保证导轨丝杠润滑
	4	润滑系统油位	操作者	标定上下线之间	异常通知线外	目视确认	每班班前	10	确认润滑泵正常工作
	5	主轴油冷机油位	操作者	油镜标定红线处	异常通知润滑工	目视确认	每班班前	10	防止主轴温度过高而损坏
	6	气源压力	操作者	压力表绿区范围内	异常通知维修	目视确认	每班班前	10	保证设备正常工作
	7	工装定位点	操作者	无松动	异常紧固	手动确认	每班班前	30	防止质量及设备事故
	8	切削液水质	线外人员	无油污异物异味	异常更换	目视、鼻闻确认	每班班前	30	防止水泵阻塞
	9	油管接头有无滴漏	线外人员	无滴漏	异常通知维修	目视确认	每班班前	30	保证设备正常工作
	10	气动系统是否漏气	线外人员	无漏气	异常通知维修	目视、耳听确认	每班班前	30	保证设备正常工作
	11	外观护罩有无变形	线外人员	无变形	异常通知维修	目视确认	每班班前	30	保证设备正常工作
	12	冷却箱体液位	线外人员	液位镜上下线之间	随时添加	目视确认	每班班前	30	防止水泵空转造成损坏
	13	设备异常振动	操作者	无异常振动	异常通知维修	目视、耳听确认	每班班前	10	防止不可预知故障
	14	设备异常气味	操作者	无异常气味	异常通知维修	鼻闻确认	每班班前	10	防止设备故障扩大
	15	设备异常噪音	操作者	无异常噪音	异常通知维修	耳听确认	每班班前	10	防止不可预知故障

清扫标准书

清扫简图	序号	部位	负责人	标准	要点	方法	周期	时间/s	目的明确化
	1	换刀臂表面	操作者	无铁屑	清理表面	毛刺、棉纱、风枪	每班班后	120	保证换刀机构动作可靠
	2	主轴表面及锥孔	操作者	无铁屑油污	清理表面	毛刺、棉纱	每班班后	120	防止锥孔异物进入
	3	工作台工装表面	操作者	无铁屑	清理表面	风枪、水冲洗	每班班后	120	保持清洁，保证加工质量
	4	各轴防护罩表面	操作者	无铁屑	清理表面	风枪、水冲洗	每班班后	90	防止铁屑进入护罩内部
	5	排屑器	操作者	无铁屑	清理表面	棉纱擦拭	每班班后	90	保持清洁，减少故障
	6	操作面板	操作者	无灰尘油污	清理表面	棉纱擦拭	每班班后	90	保持面板清洁清晰
	7	三点组合	线外人员	放掉水杯内存水	上推或旋转	清理表面、擦拭	每周五白班	120	保证气动系统正常工作
	8	液压单元散热器过滤网	线外人员	无灰尘油污	用气反方向吹净	风枪	每周五白班	120	防止油温过高
	9	电器柜冷却单元过滤网	线外人员	无灰尘油污	用气反方向吹净	风枪、水冲洗	每周五白班	120	确保电柜恒温
	10	主轴冷却单元过滤网	线外人员	无灰尘油污	用气反方向吹净	风枪、水冲洗	每周五白班	120	防止阻塞引起报警
	注意	1）操作者清扫、维护设备时必须关断机床电源，做好个人安全防护措施后再进行相关工作 2）坚决禁止在设备运行中的清理和维护操作 3）遇紧急情况需按下“急停按钮”或停机断电后操作 4）设备断电超过 24h 需开机预热 10min							

锁紧标准书

锁紧部位简图	序号	部位	负责人	标准	要点	方法	周期	时间/s	目的明确化
	1	机床外防护罩固定螺栓	线外人员	无松动或缺失	目视巡检	内六方扳手螺钉旋具	每周一白班	120	保证防护罩动作正常
	2	各防护门及运动部件	操作者	无松动或缺失	强制紧固	内六方扳手	每月 10 日白班	120	保证防护门运动良好
	3	刀具拉钉	线外人员	紧固无松动	强制紧固	内六方扳手	每月 12 日白班	1440	保证刀具拉紧到位、不掉刀等
	4	工作台压紧机构（全部）	操作者	无松动或缺失	强制紧固	内六方扳手	每月 14 日白班	120	保证工件夹紧，确保产品质量
	注意	按周期自觉认真检查，如有松动及时紧固							

加油标准书

加油部位简图	序号	部位	负责人	标准	油品标号	方法	周期	时间/s	目的明确化
	1	导轨润滑泵	线外人员	储油盒标定上限	68#导轨润滑油	旋下上方加油孔盖	每周二五白班	180	保证导轨轴承润滑，降低磨损
	2	空压三点组合	润滑工	目视油杯约 3/4 处	7#磨头油	旋下上部油杯	每周三白班	180	保证气动管路元件工作正常
	3	主轴油冷机	润滑工	油镜标定红线外	VG6 ~ VG32	旋下下方加油孔盖	每周一白班	180	保证主轴油冷机正常工作
	4	液压站	润滑工	目视油镜上限	32#或 46#液压油	旋下上方加油孔盖	每月 1 日白班	180	保证液压系统正常工作
	5	排屑器链条	线外人员	适量	68#润滑油	油壶润滑传动链条	每月 1 号白班	180	保证排屑机正常工作
	注意	按周期自觉认真检查，如有缺失按标准添加							

4.1.1　液压动力元件及故障

在液压系统中，作为动力元件的液压泵（又称油泵）是液压系统的重要组成部分之一，它是将普通三相异步电动机或其他原动机输出的机械能转换为液体压力能的一种能量转换装置。通过液压泵的能量转换，可为液压系统提供一定流量和压力的液体供应（通常为压力油）。一般来讲，目前的液压泵均为容积式液压泵，即不管采取何种结构型式（齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等），从工作原理上看均是通过一个周期性变化的密封容积来完成吸油和压油的。

（1）单柱塞液压泵的工作原理（见图 4-4）　吸油单向阀 6、排油单向阀 7、柱塞 2 和泵体 5 之间形成了一个密封可变的工作容积 4。装于泵体内的柱塞 2 在弹簧 3 的作用下保持与偏心轮 1 接触，当偏心轮在普通三相异步电动机或其他原动机的带动下旋转时，柱塞作往复直线运动。柱塞向右移动则使工作容积 4 的容积逐渐增大并形成局部真空，此时油箱 8 内的油液在大气压力作用下通过吸油单向阀 6 进入工作容积 4 中，因排油单向阀 7 关闭（防止系统油液回流）而完成了一个吸油过程。柱塞向左移动则使工作容积 4 的容积逐渐减小，受挤压后压力增大的油液通过排油单向阀 7 压出进入液压系统中，因吸油单向阀 6 关闭（防止油液回流油箱）而完成了一个压油过程。若偏心轮不停地旋转，液压泵就会不断地吸油和压油。

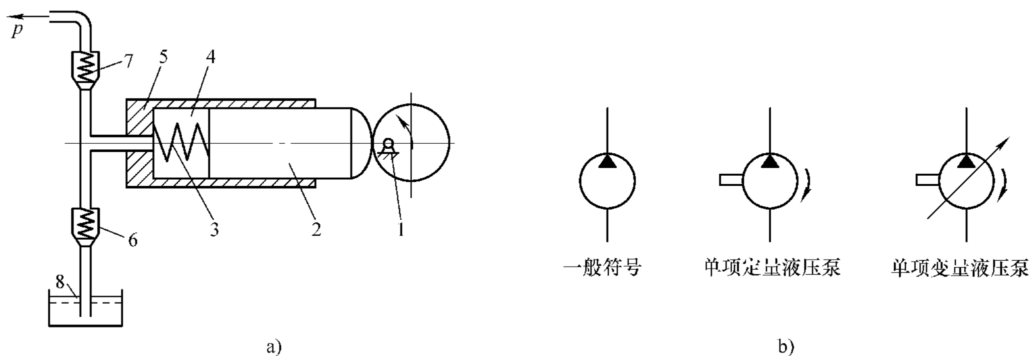


图 4-4　液压泵工作原理图及其图形符号
a）单柱塞液压泵工作原理图　b）液压泵的图形符号
1—偏心轮　2—柱塞　3—弹簧　4—工作容积　5—泵体　6—吸油单向阀　7—排油单向阀　8—油箱

（2）容积式液压泵的三个必备条件　通过图 4-4 的分析可知，一是液压泵具有一个密封可变的工作容积以用于吸油和压油，二是油路中的吸油单向阀和排油单向阀起到了配油作用——即吸油时工作容积与油箱相通而压油口关闭、压油时工作容积与压油口接通而吸油口关闭，三是液压泵吸油口的压力必须小于油箱内油液的压力（大气压力），这就是容积式液压泵必须具备的三个条件。

（3）容积式液压泵的分类　按输出流量能否调节，可将液压泵分为变量泵和定量泵；按输出油液的方向是否变化，可将液压泵分为双向泵和单向泵；按结构型式的不同，可将液压泵分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵和螺杆泵等（见图 4-5）；按额定压力的高低，可将液压泵分为低压泵（0.25～2.5MPa）、中压泵（2.5～8MPa）、中高压泵（8～16MPa）、高压泵（16～32MPa）和超高压泵（>32MPa）。

1. 齿轮泵的实例应用与故障排除

（1）简介　齿轮泵是将机械能转换为液体压力能的一种能量转换装置，它通过一对安装在泵体和泵盖（前、后盖）内并相互啮合的主、被动齿轮来形成两个互不相通的封闭空间——吸

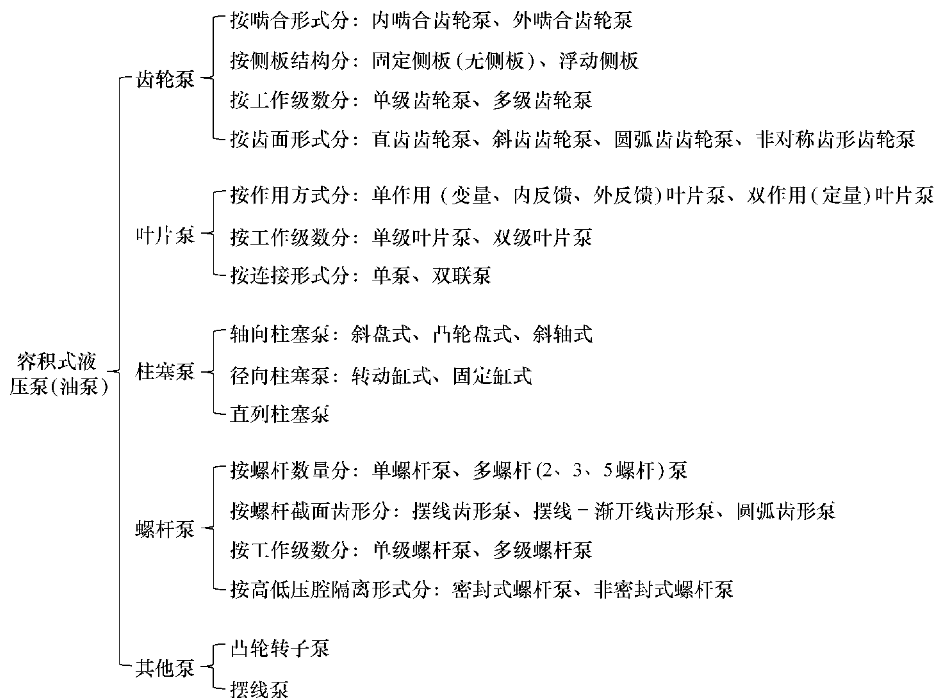


图 4-5　不同结构型式的容积式液压泵

油腔和压油腔。当主动齿轮在电动机的带动下旋转时，吸油腔容积逐渐增大而形成局部真空，大气压力便将油液压入泵内，压油腔容积逐渐减少使得泵内油液被压出而进入液压系统。根据主被动齿轮啮合形式的不同，可将齿轮泵分为内啮合齿轮泵（见图 4-6）和外啮合齿轮泵（见图 4-7）。

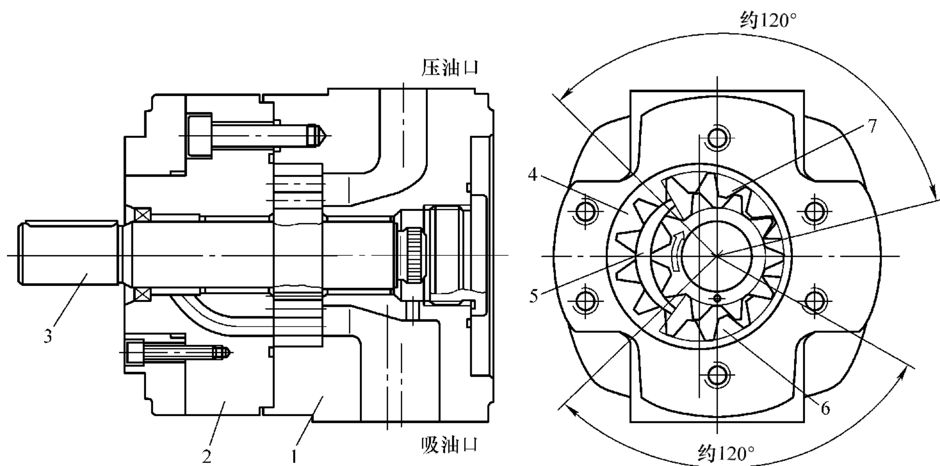


图 4-6　内啮合（渐开线）齿轮泵结构图

1—泵体　2—前泵盖　3—齿轮长轴　4—主、被动齿轮

5—半月隔板　6—吸油腔　7—压油腔

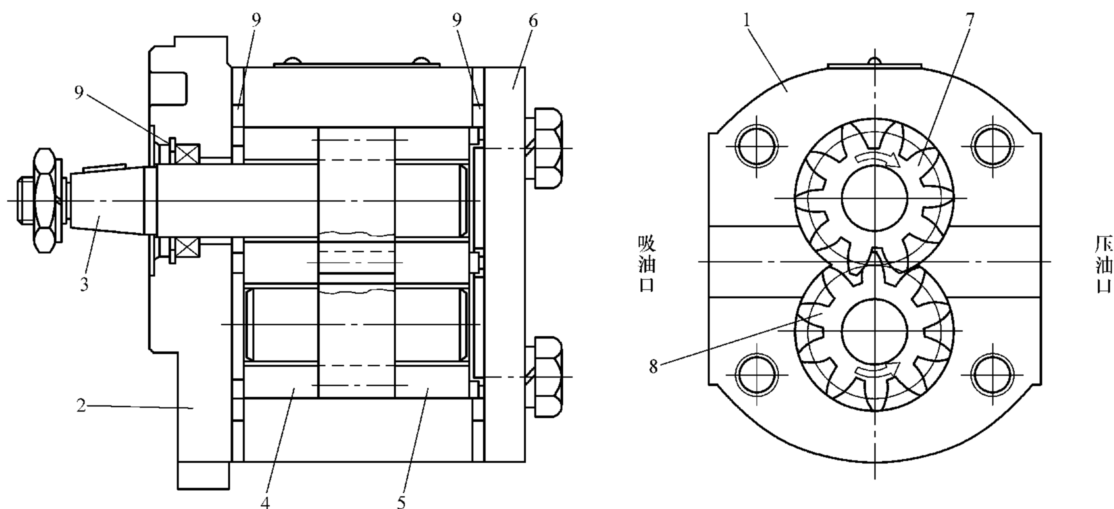


图4-7　外啮合齿轮泵结构图

1—泵体　2—法兰　3—齿轮长轴　4、5—轴承座　6—泵盖　7—主动齿轮　8—被动齿轮　9—密封件

1）内啮合齿轮泵：主动齿轮的外表面和被动齿轮（内齿轮）的内表面形成密封可变的工作容积，通过半月隔板将吸油腔和压油腔隔开。主动齿轮在电动机的带动下旋转并与被动齿轮（内齿轮）啮合，从而完成吸油和压油的过程。

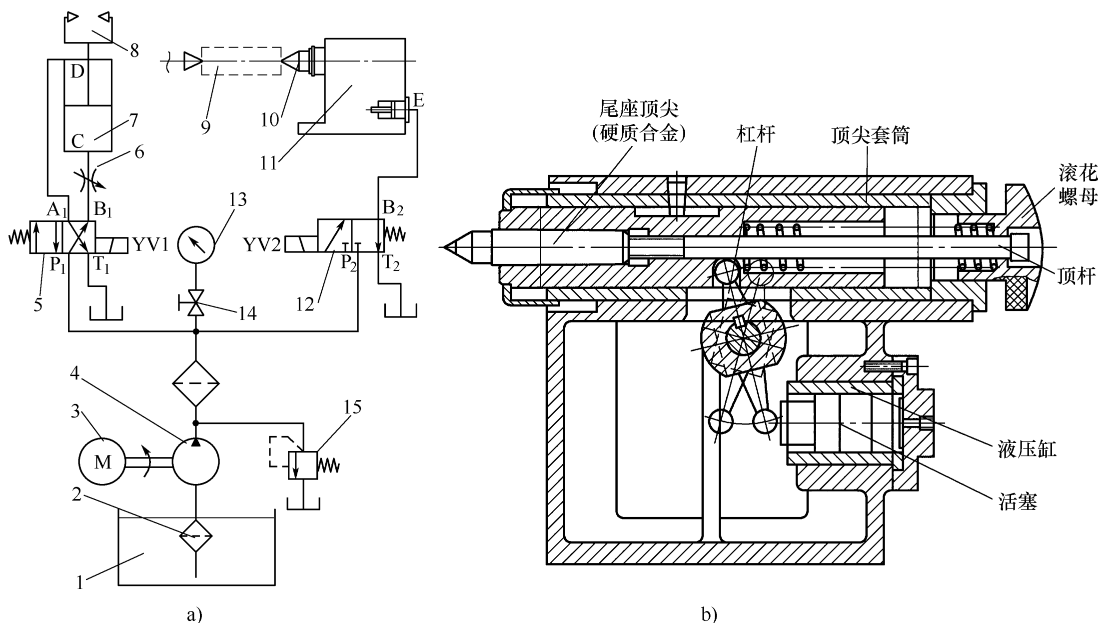
2）外啮合齿轮泵：主、被动齿轮的齿槽、泵体和泵盖形成密封可变的工作容积，通过主、被动齿轮的啮合线将吸油腔（退出啮合侧）和压油腔（进入啮合侧）隔开。主动齿轮在电动机的带动下旋转并与被动齿轮啮合，当轮齿逐渐退出啮合时，轮齿的体积让出齿槽而使得吸油腔容积逐渐增大并形成真空，在大气压力的作用下将油箱中的油液吸入齿槽空间内并由转动着的齿轮将其带到压油腔。当轮齿逐渐进入啮合时，齿槽空间被轮齿占有而使得压油腔容积逐渐变小，油液受到挤压后通过压油口压入系统内。齿轮连续旋转，则吸油腔不断吸油、压油腔不断压油。

3）齿轮泵的特点：结构简单、制造方便、价格低廉、工作可靠、自吸能力强，对油液污染不敏感；但泵噪声较大，存在的径向不平衡力（因压油腔内压力大于吸油腔内压力）会加速泵内轴承的磨损甚至使齿轮轴弯曲变形而导致内泄漏量大，存在的困油现象（此为容积式泵的通病）限制了其向高压方向的发展。尽管可采取“减小压油口并使其小于吸油口”的方法来减少高压油在齿轮上的作用面积以降低径向不平衡力，但该法限制了齿轮泵工作压力的提高，使得齿轮泵目前广泛应用于2.5MPa以下的低压型液压系统中。

（2）内啮合齿轮泵在MKS1632A×750型数控端面外圆磨床上的应用　适用于各中小型零件圆柱面、圆锥面和轴肩等单面或组合面磨削的MKS1632A×750型数控端面外圆磨床（X、Z两轴联动），配置了包含油箱、BB－B10摆线齿轮泵（为容积式内啮合齿轮泵）和电磁换向阀等液压元件在内的液压系统（见图4-8），以分别完成Marposs E9在线测量仪的前进/后退和机床尾座顶尖套筒的伸出/退回。

1）该液压系统中油箱的容量为70L，BB－B10摆线齿轮泵（见图4-9）在功率为0.75kW的Y80M2－4电动机的带动下旋转以完成吸油和压油的工作任务，Y25B溢流阀用来调节系统的油压为0.8MPa左右并通过压力表读出此压力值。为保证油温不会过高，可为该液压系统加装油冷却机。

2）在线测量仪前进/后退动作的控制：操作者既可通过机床操作面板上的手动按钮来控制

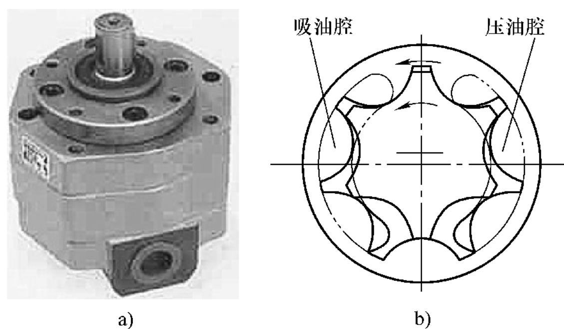


a)　　　b)

图 4-8　MKS1632A×750 型数控端面外圆磨床的液压原理图及尾座结构图

a）液压原理图　b）尾座结构图

1—油箱　2—吸油过滤器　3—电动机（0.75kW）　4—摆线齿轮泵（BB－B10）　5—二位四通型电磁换向阀（DSG）　6—可调节流阀　7—在线测量仪的液压缸　8—Marposs E9 的测爪　9—被磨削工件　10—机床尾座顶尖　11—机床尾座体　12—二位三通型电磁换向阀（DSG）　13—压力表　14—压力表开关　15—溢流阀（Y25B）



a)　　　b)

图 4-9　BB－B10 摆线齿轮泵

a）实物图　b）密封可变的工作容积

在线测量仪前进或后退，也可通过执行加工程序中的辅助功能代码（如 M22 前进，M23 后退）来实现在线测量仪前进或后退动作的自动控制。FANUC 系统的 PMC 或 SINUMERIK 系统的 S7－PLC（802D/802Dsl/828D 为 S7－200，810D/840D/840Dsl 为 S7－300）内部逻辑条件满足后向外输出一个预先指定的逻辑信号（FANUC 系统 PMC 中为 Y 信号，SINUMERIK 系统 PLC 中为 Q 信号）→中间继电器 KA1 的线圈得电常开触点闭合→电磁阀线圈 YV1 得电→二位四通型电磁换向阀动作（P_1 与 B_1 接通，A_1 与 T_1 接通）→油液自液压缸 7 的进油口 C 流入下腔并使其活塞杆向外推出，同时缸内上腔的油液经阀口 A_1、T_1 后回流油箱→此时在线测量仪向前接近工件处，并将其测爪卡在工件的被测部位上以实时测量→当 KA1 线圈失电使其处于闭合状态的常开触点断开时→YV1 线圈失电→二位四通型电磁换向阀动作（P_1 与 A_1 接通，B_1 与 T_1 接通）→油液自液压缸 7 的出油口 D 流入上腔并使其活塞杆回退，同时缸内下腔的油液经阀口 B_1、T_1 后回流油箱→此时在线测量仪后退离开工件（后退速度经节流阀 6 控制）。

3）尾座顶尖套筒伸出/退回动作的控制：操作者既可通过机床操作面板上的手动按钮或脚踏开关来控制尾座顶尖套筒伸出或退回，也可通过执行加工程序中的辅助功能代码（如 M21 退

回）来实现尾座顶尖套筒的自动退回。PMC 或 S7 – PLC 内部逻辑条件满足后向外输出一个预先指定的逻辑信号→中间继电器 KA2 的线圈得电常开触点闭合→电磁阀线圈 YV2 得电→二位三通型电磁换向阀动作（P_2 与 B_2 接通，T_2 关闭）→油液自进/出油口 E 流入尾座液压缸内，并使其活塞杆克服弹簧作用力后退回原位而松开被夹紧的工件→当 KA2 线圈失电使其处于闭合状态的常开触点断开时→电磁阀线圈 YV2 失电→二位三通型电磁换向阀动作（P_2 关闭，B_2 与 T_2 接通）→尾座顶尖套筒在弹簧力的作用下自动伸出以顶紧工件（顶紧力的大小通过滚花螺母进行调节），同时尾座液压缸内的油液经阀口 B_2、T_2 后回流油箱→莫氏 5 号锥度硬质合金顶尖顶好工件后可用手柄（图中未画出）锁紧套筒以防止加工过程中因意外原因而套筒退回。

（3）外啮合齿轮泵在 F8002 台车式桥壳清洗机上的应用　目前，在重型汽车 AC16 驱动桥上使用了一种材质为 QT 的铸造桥壳中段（见图 4-10）。该桥壳中段与材质为 40Gr 的空心压入式轴头进行过盈装配前，其三级内孔 A1、B1 和 C1 处需进行镗削加工（分粗镗和精镗两个工序）。但是镗削加工后的三级内孔中含有大量的碎铁屑，会影响桥壳中段与空心压入式轴头的过盈配合热压装。因此必须使用 F8002 台车式桥壳清洗机对镗削加工后的桥壳中段进行清洗处理，清洗过程为“桥壳中段在上料位装载至输送小车→输送小车在液压马达的驱动下通过齿轮齿条传动副的耦合前进至粗洗工位→输送小车上的工件翻转机构在摆动油缸的控制下正翻 90°使桥壳中段呈垂直状态而进行上端三级内孔的粗洗（喷淋 150ms 吹气 50ms）→工件翻转机构反翻 180°后进行桥壳中段另一端三级内孔的粗洗（喷淋 150ms 吹气 50ms）→输送小车继续前进至漂洗工位后使用与粗洗液不同的漂洗液按照与粗洗工位相同的动作对桥壳中段进行漂洗处理→输送小车继续前进至除锈工位后使用除锈液按照与粗洗工位相同的动作对桥壳中段进行除锈处理→输送小车前进至下料位后卸掉清洗完毕的桥壳中段→输送小车返回上料位以进行下一轮的清洗任务”。对于输送小车的前进与返回、工件翻转机构的正翻 90°与反翻 180°，采用包含油箱、HGP 系列高压齿轮泵（为容积式外啮合齿轮泵）、电磁换向阀和液压马达 MFB5U207 及摆动液压缸 UBFKS40200H 等液压元件在内的液压系统进行驱动，液压原理图如图 4-11 所示。

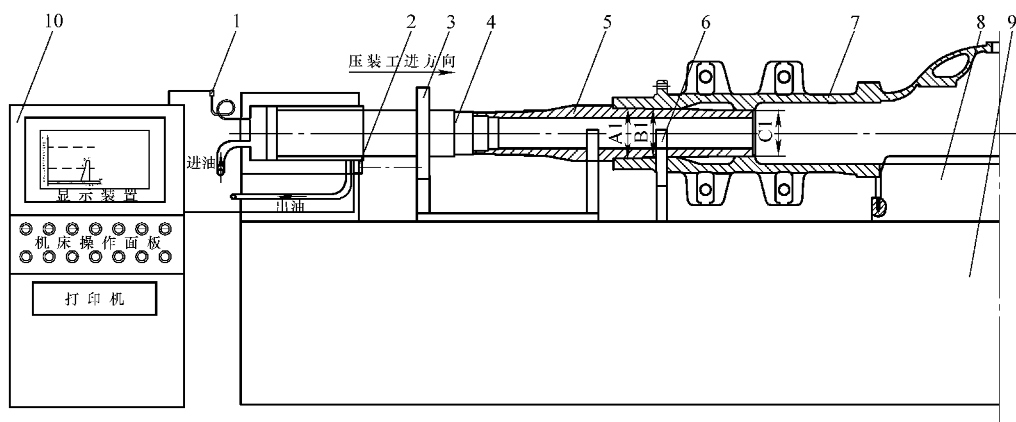


图 4-10　铸造桥壳中段及其热压装示意图

1—压力传感器　2—位移传感器　3—托架 1　4—压装机压头　5—空心压入式轴头（材质 40Gr）
6—托架 2　7—桥壳中段（材质 QT）　8—托架 3　9—机床本体　10—操作控制台

（4）齿轮泵的常见故障与排除　包括 CB 型外啮合泵（见图 4-12）、HGP 系列外啮合高压泵和 BB – B10 摆线泵在内的齿轮泵，常见的故障有噪声严重及压力波动、输出油量不足、泵运转不正常或存在咬死现象等。其可能的原因及处理方法见表 4-3。

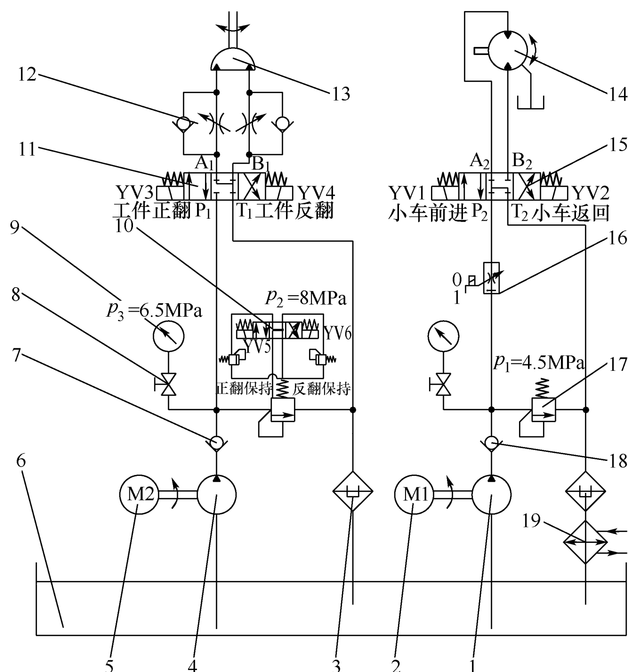


图 4-11　F8002 台车式桥壳清洗机的液压原理图

1—HGP3AF23 齿轮泵　2—电动机 3P4　3—回油过滤器 RFA100×20LY　4—HGP2AF04 齿轮泵
5—电动机 1P4　6—油箱 160L　7—单向阀 CIT03A1　8—压力表开关 NUL02　9—压力表 AT63/16MPa
10—电磁换向阀 D5023C4　11—电磁换向阀 D5023C3　12—双向节流阀 MSW02X　13—摆动液压缸 UBFKS40200
14—液压马达 MFB5U207　15—电磁换向阀 D5023C2A25　16—电液比例阀 EFBG03（JY4010 功率放大板）
17—叠加式溢流阀 MBW02C　18—单向阀 CIT04A1　19—管式水冷却器 OR60

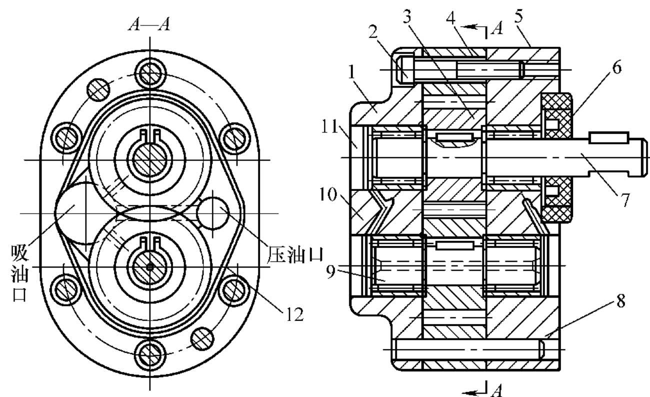


图 4-12　CB－B 型外啮合齿轮泵的结构图

1—后泵盖　2—连接螺钉　3—主动齿轮　4—泵体　5—前泵盖
6—油封　7—齿轮长轴　8—定位销　9—齿轮短轴　10—滚针轴承
11—压盖　12—泄油通槽

表4-3　齿轮泵常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
噪声严重、压力波动（噪声会造成环境污染，引起工人疲劳，影响听力和加快心跳而危害人身健康；又会淹没危险信号和指挥信号而造成工伤事故）	1）泵进油口的过滤器被污物阻塞或容量不足，不能起滤油作用（此为噪声大的原因之一）	若污物堵塞时，可用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物；若容量不足时可更换容量较大的过滤器，一般进油容量为油泵最大排量的2倍以上即可；按设备自主保全的要求，定期检查和清洗过滤器
	2）泄漏等原因造成油箱内油液面太低或吸油管的位置太高，使得吸油管露出油面而吸入空气；吸油管道接头密封不严而吸入空气（吸空现象）	排除管接头或液压元件的泄漏，加油至油标位（规定液面）及降低吸油管位置（油箱2/3深度处），使吸油管没入液面以下；或使泵的安装位置低于油箱的位置，以实时倒灌而改善吸入条件
	3）油箱内高出液面的回油管使回流的油液对油箱内液面产生剧烈的搅动，将空气混入油液内，吸油管将带有气泡的油液吸进造成气穴现象（即油液中低压处膨胀的气泡进入高压区后被压缩）而产生噪声	加长回油管，使其浸入油箱内液面一定的深度，将回油管的管口设计成45°斜切口，面朝油箱内壁并距箱壁100mm左右为宜；回油管的直径应足够大，以防止回油的流速过高而冲击油箱搅动液面后混入空气
	4）泵体与泵盖的两侧未加纸垫等密封元件，使其密封不严而在旋转时吸入空气	泵体与泵盖间加装纸垫，用金刚砂在平板上研磨泵体后与泵盖紧固连接并使泵体与泵盖的垂直度误差≤0.005mm，无泄漏
	5）泵的齿轮长轴（主动）与液压泵电动机连接的同轴度差/不同心，存在扭曲摩擦	调整泵与电动机的同轴度≤0.005mm
	6）泵内主、被动齿轮的啮合精度不够	对研主、被动齿轮使接触区位于齿宽和齿高的中间位置
	7）泵齿轮长轴的油封骨架脱落使泵体密封不严	更换合格的泵轴油封，消除泄漏
	8）油液黏度过高导致吸油不足而出现吸空现象	根据地区和季节变化合理选用液压油的牌号；低温开机后进行空车预运转，系统温度适宜时再加载运转；采用消泡性能好的液压油或油中加入消泡添加剂，以消除油液内快速上浮的气泡
输油量不足或油量显著减少（泵虽在电动机带动下旋转但泵的流量很小且不能达到额定流量。此时液压缸的快进速度、液压马达的转速或蓄能器的冲液速度会显著变慢）	1）泵进油口的过滤器被污物阻塞造成吸油阻力增大而出现吸空现象	若污物堵塞时，可用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物；按设备自主保全要求定期检查和清洗过滤器
	2）泄漏等原因造成油箱内油液面太低或吸油管的位置太高，使得吸油管露出油面而吸入空气；以及吸油管道接头密封不严而出现吸空现象	排除管接头或液压元件的泄漏，加油至油标位（规定液面）及降低吸油管位置（油箱2/3深度处），使吸油管没入液面以下；或使泵的安装位置低于油箱的位置，以实时倒灌而改善吸入条件
	3）油液黏度过高使吸油阻力增大而导致吸油不足；或油温过高使油液黏度过低而导致内泄漏量增大、实际输出量减少	根据地区和季节变化合理选用液压油的牌号；低温开机后进行空车预运转，系统温度适宜时再加载运转；油温过高时应加装油冷却机以降温控制（20～30℃）或排除已安装油冷却装置的故障
	4）现场接线时液压泵电动机相序接反致电动机反转	切断机床电源，在电控柜内交换电动机接触器3相接线中的任意2相
	5）泵的轴向间隙（齿轮端面与前后泵盖接合滑动面）或径向间隙（齿顶圆与泵体内孔间的扇形圆弧面）过大造成内泄漏量较大，分别占总泄漏量的70%～80%和10%～15%	通过更换相关零部件来保证泵的轴向间隙和径向间隙，消除内部油液的泄漏

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
输油量不足或油量显著减少（泵虽在电动机带动下旋转但泵的流量很小且不能达到额定流量。此时液压缸的快进速度、液压马达的转速或蓄能器的冲液速度会显著变慢）	6）泵体存在裂纹或较大的机械损伤等造成油液泄漏	泵体出现裂纹时应更换泵体，以消除油液泄漏；泵体与泵盖间加装纸垫等密封元件并紧固连接螺钉，以消除油液泄漏
	7）泵的齿轮轴断裂导致无法吸油	更换齿轮轴
	8）压力控制阀的压力调节弹簧过松	顺时针转动压力调节螺钉使弹簧压缩，启动液压泵后调整压力
泵运转不正常或有咬死现象	1）泵的轴向间隙和径向间隙过小	更换相关零部件（如泵体、齿轮等）以保证合适的轴向/径向间隙
	2）油液中杂质污物等吸入泵内或装配时泵内残留铁屑	用细铜丝网或滤油机过滤油箱内的油液以去除杂质污物，并按自主保全的要求定期更换液压油；拆卸液压泵，清除进入内部的杂质污物或残留铁屑，并重新装配好液压泵，确保无泄漏
	3）液压泵自身的装配精度不高导致泵运转不良，或齿轮的齿部存在毛刺致啮合时卡住	更换齿轮泵；或对其进行拆卸，消除齿轮的齿部毛刺后重新装配好齿轮泵，确保无泄漏
	4）压力控制阀失灵（压力调节弹簧失灵，阀体小孔被污物堵塞，滑阀和阀体失灵等）	更换压力调节弹簧，清除阀体小孔内的污物，更换滑阀
	5）泵的齿轮长轴（主动）与液压泵电动机联结的同轴度差/不同心，存在扭曲摩擦	调整泵与电动机的同轴度≤0.005mm
	6）控制液压泵电动机旋转的数字化电信号异常	PMC 或 S7－PLC 未给出预定逻辑信号，不能使电动机接触器的线圈得电进而无法使电动机运转；或电动机接触器线圈烧毁、断路等

2. 叶片泵的实例应用与故障排除

（1）简介　与齿轮泵一样，叶片泵也是将机械能转换为液体压力能的一种能量转换装置。因其具有结构紧凑、体积小、运转平稳、输油量均匀和噪声小等优点，而被广泛应用于中压（2.5～8MPa）或中高压（8～16MPa）型液压系统中；但叶片泵的结构较复杂，其吸油特性差且对油液的清洁度要求较严格。根据作用方式的不同，可将其分为单作用（变量、内外反馈）叶片泵和双作用（定量）叶片泵两种型式。

1）单作用叶片泵（见图 4-13）：主要由转子 3、定子 4、叶片 5、前后侧面的两个配油盘 1、传动轴 2 和机壳 6 等零件组成。定子 4 的内表面是一个圆形孔，转子 3 和定子 4 相互偏置安装且偏心距为 e，两侧面配油盘上开有腰形的吸油和压油窗口并分别与吸油口和压油口相连通。当电动机带动传动轴 2 一起旋转时，转子 3 转动，转子径向槽中的叶片 5 在离心力的作用下向外甩出，而使其顶部紧贴于定子 4 的内表面上，由此两相邻叶片 5、配油盘 1、转子 3 和定子 4 形成了若干个密封的工作容积。转子 3 按图示方向旋转时，右边的叶片向外甩出，密封工作腔的容积

逐渐增大并形成局部真空，通过吸油窗口将油液吸入泵内；而左边的叶片在定子内表面的作用下被迫向内缩回，密封工作腔的容积逐渐减小，泵内油液受到挤压后压力上升，通过压油窗口将油液压出泵外并进入液压系统中。转子 3 每旋转一周，每个叶片在转子径向槽内往复滑动一次，密封工作腔的容积便发生一次增大和缩小的变化，进而吸油和压油各进行一次，据此将该型式的叶片泵称为单作用叶片泵。又因泵的转子承受来自压油腔的单向液压作用力（径向不平衡力），亦可将该型式的叶片泵称为不平衡式叶片泵。这种叶片泵具有一个显著的特点——通过改变转子和定子间的偏心距 e 来手动或自动调节泵的输出流量而成为变量叶片泵，也就是 e 变大或变小时密封工作腔的容积变化相应地加大或减小，从而使泵的输出流量增大或减小。$e=0$ 时因转子与定子同心使得密封工作腔的容积不再发生变化而导致泵的输出流量为零。根据叶片泵自动调节后压力流量的不同特性，可分为限压式、恒流量式（输油量基本上不随泵的压力变化而变化）和恒压式（调定压力基本上不随泵的流量变化而变化）三类，其中限压式变量叶片泵（见图 4-14）应用较广。

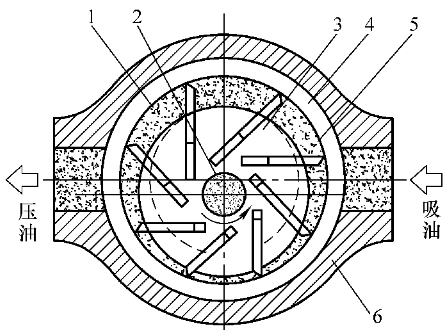


图 4-13　单作用叶片泵的结构组成

1—配油盘　2—传动轴　3—转子　4—定子　5—叶片　6—机壳

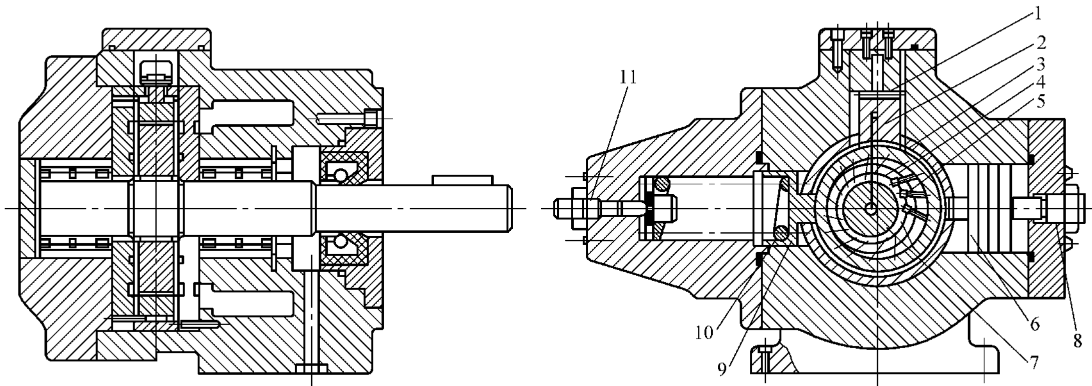


图 4-14　限压式变量叶片泵的结构图

1—滚针　2—滑块　3—定子　4—转子　5—叶片　6—活塞　7—传动轴　8—最大流量调节螺钉　9—弹簧座　10—弹簧　11—压力调节螺钉

2）双作用叶片泵（见图 4-15）：主要由泵体 1、定子 2、转子 3、叶片 4、前后配油盘（图中未标出）和传动轴 5 等零件组成。其中定子 2 既与转子 3 的中心重合又与泵体 1 固定在一起，并且定子内表面由四段圆弧和四段过渡曲线组成。定子两侧的配油盘上开有四个对称布置的腰形孔（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ），配置位置在四段过渡曲线处。作为吸油窗口的腰形孔Ⅰ、Ⅲ相通并经油管与油箱连通，作为压油窗口的腰形孔Ⅱ、Ⅳ相通并向液压系统供应压力油。当电动机带动传动轴 5 一起旋转时，转子 3 转动，转子径向槽中的叶片 4 在离心力和底部油压的作用下向外伸出，而使其顶部紧贴于定子 2 的内表面上，由此两相邻叶片 4、定子 2 和转子 3 以及配油盘形成了若干个密封的工作容积。若叶片 4 由小半径向大半径移动时，叶片向外伸出，密封工作腔的容积逐渐增大并形成局部真空，通过吸油窗口将油液吸入泵内；若叶片 4 由大半径向小半径移动时，叶

片在定子内表面的作用下被迫向内缩回，密封工作腔的容积逐渐减小，泵内油液受到挤压后压力上升，通过压油窗口将油液压出泵外并进入液压系统中。该型式的叶片泵连续转动时，会重复吸油和压油过程而不断向液压系统供油。因其吸油腔和压油腔各有两个，使得转子 3 每旋转一周时叶片泵进行两次吸油和两次压油，故将该型式的叶片泵称为双作用（定量）叶片泵，如基于 YB 型叶片泵进行改进的 YB1 型定量叶片泵（见图 4-16）。

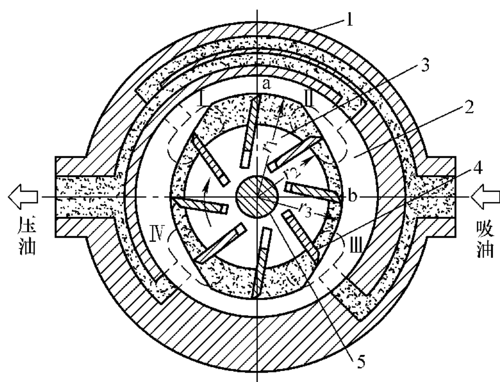


图 4-15　双作用叶片泵的结构组成

1—泵体　2—定子　3—转子　4—叶片　5—传动轴

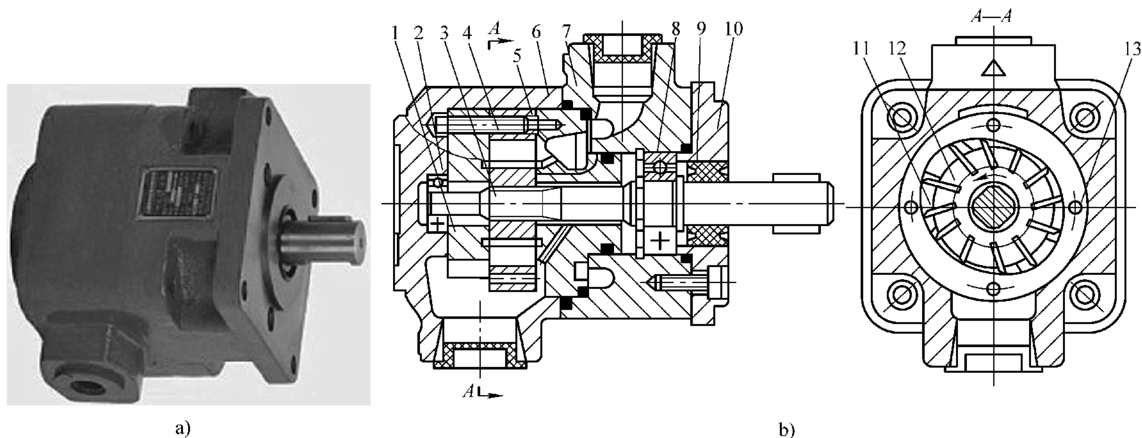


图 4-16　YB1 型定量叶片泵实物及结构图

a）实物图　b）机械结构图

1—左配油盘　2、8—支承轴承　3—泵轴（传动轴）　4—定子　5—右配油盘　6—泵体　7—前泵体　9—油封　10—盖板　11—叶片　12—转子　13—紧固螺钉

（2）VPVC－F40 型变量叶片泵在 YKX3132M 型数控滚齿机上的应用　在重型汽车和工程机械等领域内进行直齿轮、螺旋齿轮（斜齿轮）和锥度齿轮及鼓形齿轮加工的 YKX3132M 型数控滚齿机（详见第 2.2.2 节），配置了包含油箱、吸油过滤器、直接式电动机附变量叶片泵 SMVP－40—3—3（变量叶片泵型号 VPVC－F40，见图 4-17）、减压阀、单向阀、电磁换向阀和溢流阀等液压元件在内的液压系统（见图 4-18），以实现切向滑座（滚刀架）的夹紧/松开、工作台上工件的夹紧/松开、刀架滑板（轴向滑座）的重量平衡及机床尾架的上升/下降，从而满足机床利用展成法进行齿轮加工的要求。

1）该液压系统采用独立式油箱来存放液压油，液压油的型号为 20#～30#，冬季黏度应较低些、夏季黏度应较高些，通常 6～8 个月更换一次液压油。为防止液压油在工作过程中因温度升高（VPVC－F40 型变量叶片泵连续运转时的工作油温为 15～60℃）而引起机床的不均匀热变形，特使液压油在机床床身内腔与液压油箱之间进行循环流动。

2）液压泵电动机启动/停止的电气控制（见图 4-19）：关好机床的电控柜门并打开隔离开关



a)

电动机功率	压力调节范围/MPa	排量/(ml/r)	液压泵电动机的形式	变量叶片泵的型号
n=1为1hp (hp为英马力，1hp=745.7W)	□=1为 0.8～1.8		1hp4P3 380V/50Hz	VPVC-F12 VPVC-F20
n=2为2hp	□=2为 1.4～3.5	□□=12为6.67 □□=20为11.1 □□=30为16.7 □□=40为22.2	2hp4P3 380V/50Hz	VPVC-F12 VPVC-F20 VPVC-F30 VPVC-F40
n=3为3hp	□=3为 3.0～7.0		3hp4P3 380V/50Hz	VPVC-F30 VPVC-F40

b)

图 4-17　直接式电动机附变量叶片泵 SMVP 实物及技术参数

a）SMVP 实物图　b）SMVP－□□－□－n 的技术参数（自右向左）

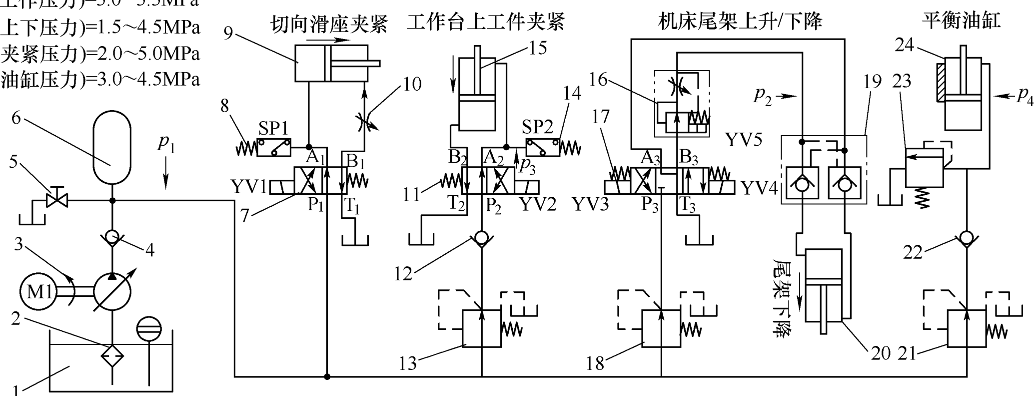


图 4-18　YKX3132M 型数控滚齿机的液压原理图

1—油箱　2—吸油过滤器　3—直接式电动机附变量叶片泵　4—单向阀（DT8P1－03－05－10－UB）　5—截止阀
6—蓄能器（NXQ－1.6/100）　7、11—两位四通电磁换向阀（DG4V－3S－2A－M－U－H5－60）　8、14—压力继电器
9、15、20、24—单杆活塞缸　10—节流阀（DGMFN－3－Z－PW－40）　12、22—单向阀（DGMDC－3－Y－PM－40）
13、18、21—减压阀（DGMX2－3－PP－BH－B－40）　16—电动单向调速阀（MSF－02T－0－D24－0）
17—三位四通电磁换向阀　19—双液控单向阀（DGMPC－3DAB－BAM－40）
23—溢流阀（DGMC－3－PT－BW－B－40）

QS1（100A）和断路器 QF1（60A）→将三相 AC380V 电源引入机床→依次按下 MCP 上［NC 启动］按键 SB1 和［液压启动］按键 SB3→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T3 向 PLC 输入 I0.0＝1 信号→PLC 逻辑处理后 Q2.0 线圈通电保持并经 X222 插口的端子 T31 向外输出→中间继电器 KA1 线圈（24V）得电常开触点闭合→接触器 KM1 线圈（AC220V）通电主触点闭合→直接式电动机 M1 接通三相 AC380V 电源而旋转并带动 VPVC－F40 型变量叶片泵一同运转以重复吸油和压油过程→伴随着 Q2.0＝1→S7－200PLC 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T32 输出 Q0.1＝1 使得 MCP 上［液压启动］按键 SB3 的指示灯 HL3 点亮呈绿色→按下 MCP 上［液压停止］按键 SB4（接常闭触点）时 MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T4 向 PLC 输入 I0.1＝0 信号使得处于通电状态的线圈 Q2.0＝0→KA1 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点呈断开

状态→AC220V 停止向 KM1 线圈供电使其处于闭合状态的常开主触点呈断开状态→电动机 M1 停止旋转。

3）VPVC－F40 型变量叶片泵的压力和流量调整：YKX3132M 型数控滚齿机液压系统的工作压力一般为 5.0～5.5MPa，可在图 4-18 所示的测定点 p_1 进行测定。若需要增大系统的工作压力（最大峰值不超过 14MPa）时可右旋（顺时针正方向）变量叶片泵上的压力调节螺钉，反之左旋（逆时针方向）变量叶片泵上的压力调节螺钉。另外，根据实际要求，可通过变量叶片泵上的最大流量调节螺钉来调整液压油的流量，右旋调节螺钉则流量减少，左旋调节螺钉则流量增加。

4）液压系统异常状况的监控（见图 4-19）：

① 当液压泵电动机因缺相运行、绕组匝间短路或长期过载运行而出现过电流时→电动机断路器 QM1（GV2－M10C）将由接通状态跳转为断开状态→由 PP72/48 模块上 X222 插口的端子 T19 向 S7－200PLC 输入 I5.0＝0 信号→V16000000.2 接通并通过接口信号传递至 HMI，在 802Dsl 系统的 PCU 面板上显示“700002：QM1 液压电动机过热报警”→伴随着 V16000000.2＝1→在 S7－200PLC内经过 M60.2 和 M60.0 接通 Q0.2 和 Q4.7 并分别经由 PP72/48 模块上 X111 插口中

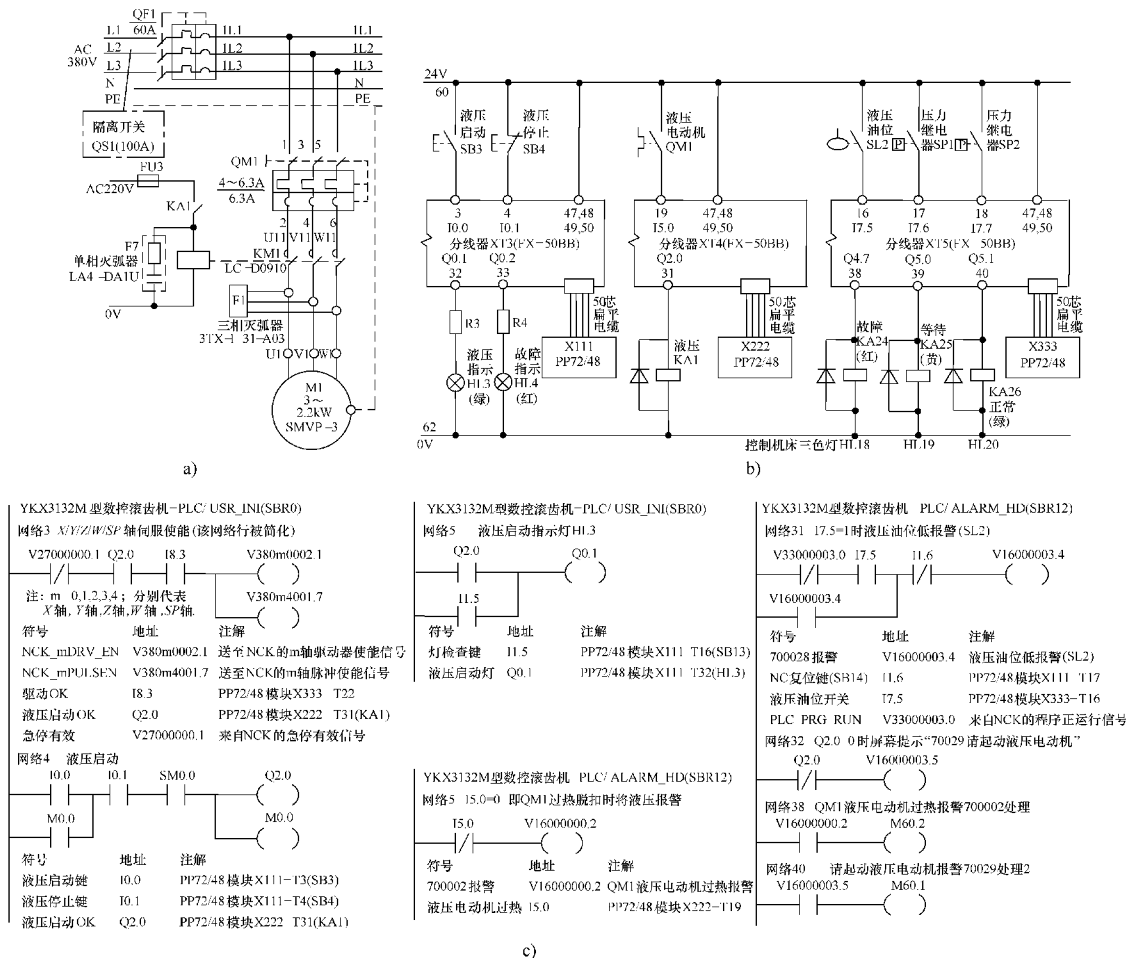


图 4-19 YKX3132M 型数控滚齿机的液压控制电路及 PLC 程序

a）液压泵电动机的主回路 b）液压泵电动机的辅助控制回路

c）液压泵电动机控制的 PLC 程序（S7－200）

端子T33和X333插口中端子T38向外输出→MCP上的［机床故障］指示灯HL4点亮呈红色，且机床三色指示灯的HL18呈闪烁红色报警状态。

② 当液压系统因管接头/配合处密封不良出现液压油泄漏或油箱自身泄漏而导致油箱内液压油的液面低于液压油位开关SL2允许的高度时→由PP72/48模块上X333插口的端子T16向S7－200PLC输入I7.5＝1信号→V16000003.4接通并通过接口信号传递至HMI，在802Dsl系统的PCU面板上显示“700028：SL2液压油位低报警”→后续为MCP［机床故障］指示灯HL4和机床三色指示灯HL18的点亮控制。

（3）叶片泵的常见故障与排除　包括VPVC－F40型变量叶片泵和YB1型定量叶片泵在内的叶片泵，常见的故障有泵不出油或输出油量不足、压力上不去或根本无压力、泵噪声增高等。其可能的原因及处理方法见表4-4。

表4-4　叶片泵常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
泵不出油或输出油量不足	1）因现场接线时电动机的相序接反使得叶片泵旋转方向不对而导致泵无法上油	可改变液压泵电动机的转向（切断机床电源，在电控柜内交换电动机接触器3相接线中的任意2相），一般叶片泵上有箭头标记以表明旋转方向，无标记时可对着泵轴方向观察，泵轴应为顺时针旋转
	2）叶片泵的转速过低使得离心力无法将叶片自转子槽内向外抛出，因而无法形成密封可变的工作容积	通常叶片泵转速＜500r/min或＞1500r/min时均吸不上油
	3）泵进油口过滤器被污物阻塞造成吸油阻力增大而出现吸空现象	若污物堵塞时，可用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物；按设备自主保全要求定期检查和清洗过滤器
	4）泄漏等原因造成油箱内油液面太低或吸油管的位置太高，使得吸油管露出油面而吸入空气，以及吸油管道接头密封不严而出现吸空现象	排除管接头或液压元件的泄漏、加油至油标位（规定液面）及降低吸油管位置（油箱2/3深度处），以使吸油管没入液面以下；或使泵的安装位置低于油箱的位置，以实时倒灌而改善吸入条件
	5）油液黏度过高增大了泵的吸油阻力而致其吸油不足或吸不上油	根据地区和季节变化合理选用液压油的牌号；低温开机后进行空车预运转，系统温度适宜时再加载运转
	6）叶片泵电动机虽旋转但泵轴不能回转致无法吸油	漏装泵轴上的平键时需重新安装平键；泵轴折断时需更换同规格的传动轴；电动机与叶片泵之间的联轴器损坏而不能起联接作用，需要换同规格的联轴器
	7）因泵自身的毛刺/污物、叶片与转子槽的配合间隙太小或液压油含有的水分使叶片锈蚀等，个别或多个叶片粘连卡死在转子槽内使其不能在离心力作用下向外抛出，从而导致无法形成密封可变的工作容积以及不能将吸油腔和压油腔隔开	泵自身有毛刺/污物时，可对其拆卸后用什锦锉刀等工具锉修掉毛刺及用干净的清洗油清洗各配件以去除污物；叶片与转子槽的配合间隙过小时，需更换小规格的叶片或大规格的转子槽以增大两者的配合间隙；叶片锈蚀时不仅需更换相应叶片还需彻底清理掉液压系统内的水分并重新换液压油
	8）配油盘与泵体接触不良，之间有污物致其卡住而使高低压油腔互通吸不上油	拆卸叶片泵后用干净的清洗油清洗各配件去除污物，重新装配
	9）泵体存在气孔、砂眼缩松等铸造缺陷，使用一段时间后被击穿，而导致高低压油腔互通吸不上油	更换质量合格的同规格泵体
	10）泵的轴向间隙（泵转子与泵体孔深尺寸的配合）过大造成叶片泵内泄漏严重而输出油量不足	通过更换相关零部件来保证泵的轴向间隙消除内部油液的泄漏

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
压力上不去或根本无压力	1）上述 10 条“泵不出油或输出油量不足”的故障原因均可能导致压力上不去或根本无压力	同以上 10 条
	2）装在液压回路中的压力调节阀不正常	压力调节阀卡死而不能调压，需拆卸压力调节阀修理和清洗各配件后重新装配使其压力调节流畅
	3）油液黏度过低或油温过高致叶片泵的内泄漏严重，而造成泵所打出的油液不能加载上升至所需压力	据地区和季节变化合理选用液压油的牌号；油温过高时应加装油冷却机以降温控制（20～30℃）或排除已安装的油冷却装置的故障
	4）定子内表面刮伤致叶片顶部与定子内表面接触不良，造成泵的内泄漏增大及流量减小而无法调大压力	拆卸叶片泵后用 00 号砂布蘸油打磨抛光定子内表面或更换定子
	5）配油盘等磨损严重使泵的内泄漏增大及流量减小	更换磨损的零件；或重新研磨各配合件以保证配合间隙
泵噪声增高（噪声会造成环境污染，引起工人疲劳，影响听力和加快心跳而危害人身健康；又会淹没危险信号和指挥信号而造成工伤事故）	1）叶片泵自身问题，叶片顶部倒角太小使得叶片运动时作用力突变而产生硬性冲击噪声	叶片顶部倒角不得小于 2×45°或将顶部修正为圆弧
	2）叶片泵自身问题，叶片高度尺寸允差控制不严，使泵中一部分叶片不等高	重新修磨所有叶片使其等高，高度允差在 0.1mm 之内
	3）叶片泵自身问题，定子内表面加工不好致过渡圆弧交接处不圆滑；或使用后有磨损、被叶片刮伤等	定子内表面有轻微划伤时，可用 00 号砂布蘸油打磨抛光后继续使用；若定子内表面划伤严重时，可将定子翻转 180°后继续使用
	4）叶片泵自身问题，配油盘的端面与内孔不垂直，回转时周期性地刮磨转子端面而产生噪声	应修磨并选配配油盘的端面与内孔的垂直度在 0.005～0.01mm 内
	5）叶片泵自身问题，端盖内的密封件对泵轴压得过紧	适当调整密封件的压紧程度或修磨泵轴上与密封件接触的部位
	6）叶片泵与电动机间的联轴器安装不同轴使其运转时产生撞击和振动噪声	选用挠性联轴器；用磁性千分表校正电动机与叶片泵的同轴度在允许范围内（如 YB1 型叶片泵和 VPVC－F40型叶片泵均为≤0.05mm）
	7）泵进油口的过滤器被污物阻塞或容量不足使吸油阻力增大，因吸空而产生噪声	污物堵塞时，可用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物；若容量不足时可更换容量较大的过滤器，一般进油容量为油泵最大排量的 2 倍以上即可
	8）泄漏等原因造成油箱内油液面太低或吸油管的位置太高，使得吸油管露出油面而吸入空气，以及吸油管道接头密封不严而吸入空气（吸空现象）	排除管接头或液压元件的泄漏、加油至油标位（规定液面）及降低吸油管位置（油箱 2/3 深度处），以使吸油管没入液面以下；或使泵的安装位置低于油箱的位置，以实时倒灌而改善吸入条件
	9）油箱内高出液面的回油管使回流的油液对油箱内液面产生剧烈的搅动，将空气混入油液内，吸油管将带有气泡的油液吸进造成气穴现象（即油液中低压处膨胀的气泡进入高压区后被压缩）而产生噪声	加长回油管，使其浸入油箱内液面一定的深度，将回油管的管口设计成 45°斜切口，面朝油箱内壁并距箱壁 100mm 左右为宜；回油管的直径应足够大，以防止回油的流速过高而冲击油箱搅动液面后混入空气；用网眼钢板将油箱的吸油区和回油区隔开
	10）泵轴拉毛使其密封件拉伤导致空气进入；振动等致吸油管松动或密封件老化，致吸油管路气密性降低而使空气进入	修磨掉泵轴上的拉毛并更换与其配合的密封件；在吸油管路的螺纹连接处缠绕四氟乙烯并拧紧各接头且更换新密封件

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
油温高泵异常发热	1）装配尺寸链不正确、滑动配合间隙过小、表面拉毛或转动不灵活，致摩擦阻力和转动转矩大而发热	拆开叶片泵后，重新去毛刺抛光处理，在保证配合间隙的基础上重新装配；相关磨损或损坏的零件必须换新件
	2）泵长期在接近或超过规定压力的工况下工作	通过压力调节螺钉降低工作压力
	3）泵与电动机间的联轴器安装不同轴而发热	用磁性千分表校正电动机与叶片泵的同轴度在允许范围内（如 YB1 型叶片泵和 VPVC－F40 型叶片泵均为≤0.05mm）
	4）油箱内回油管和吸油管靠得太近，回油来不及冷却便又被马上吸进泵内；或环境温度过高致油温高	增大回油管与吸油管之间的距离，并用网眼钢板将油箱的吸油区和回油区隔开；可加装油冷却机以降温控制（20～30℃）

3. 柱塞泵的实例应用与故障排除

（1）简介　柱塞泵是将机械能转换为液体压力能的一种能量转换装置，它依靠柱塞在缸体柱塞孔内所做的往复直线运动使密封的工作容积发生变化从而实现吸油和压油。因其具有密封性能好、效率高、流量可调、工作压力高（一般 20～40MPa，最高达 100MPa）和使用寿命长等优点，而被应用于高压大流量型液压系统中；但柱塞泵的结构复杂，加工精度和日常维护要求高，对油液的污染较敏感。根据柱塞排列方向的不同，可将柱塞泵分为轴向柱塞泵和径向柱塞泵两大类，其中前者的柱塞平行于缸体中心线而后者的柱塞垂直于缸体中心线。根据柱塞数目的多少，可将柱塞泵分为单柱塞泵和多柱塞泵，因单柱塞泵的脉动流量（即偏心轮控制泵在半周内吸油半周内压油，见图 4-4）使得被驱动液压缸的运动速度不均匀，故柱塞泵总是制作成多柱塞泵。

1）轴向柱塞泵：按其相互关系和结构型式，轴向柱塞泵有斜盘式和斜轴式两种规格，其中前者的柱塞轴线与传动轴轴线一致且斜盘的倾角可改变，后者的缸体轴线与传动轴轴线成一角度，如图 4-20 所示。在此以斜盘式轴向柱塞泵为例，介绍其结构组成及工作原理（见图 4-21）。

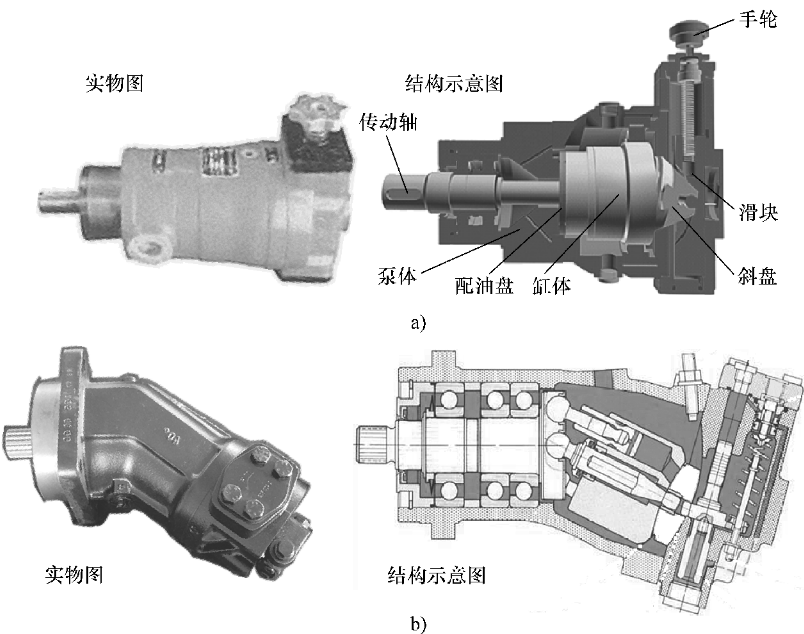


图 4-20　斜盘式轴向柱塞泵与斜轴式轴向柱塞泵

a）斜盘式轴向柱塞泵　b）斜轴式轴向柱塞泵

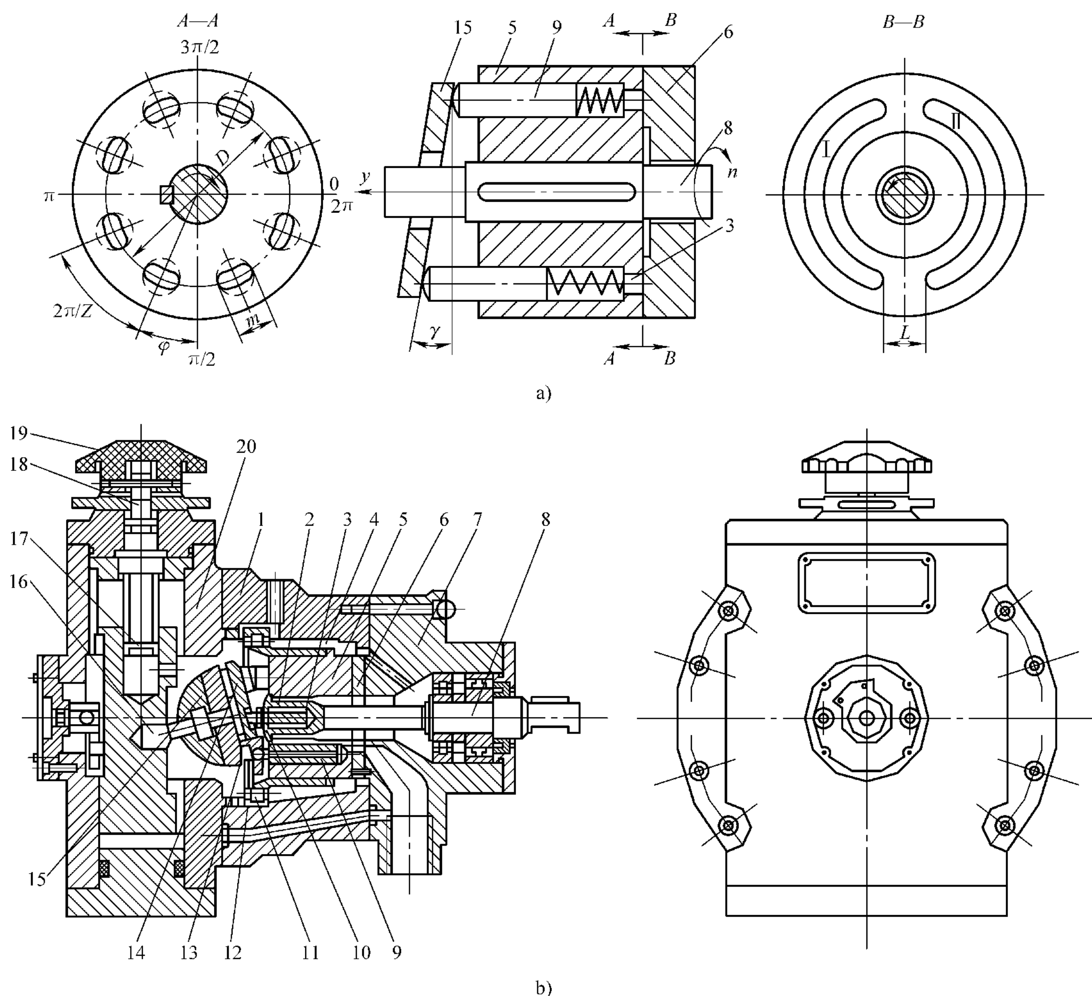


图 4-21 斜盘式轴向柱塞泵的工作原理图及结构图

a）斜盘式轴向柱塞泵的工作原理图 b）手动变量斜盘式轴向柱塞泵的结构图

1—中间泵体 2—内套 3—弹簧 4—钢套 5—缸体 6—配油盘 7—前泵体 8—传动轴 9—柱塞 10—外套 11—轴承 12—滑轮 13—钢珠 14—回程盘 15—斜盘 16—轴销 17—变量活塞 18—丝杠 19—手轮 20—变量机构壳体

斜盘式轴向柱塞泵主要由弹簧 3、缸体 5、配油盘 6、传动轴 8、柱塞 9 和斜盘 15 等零件组成，其中缸体 5 的圆周上均匀分布着轴向柱塞孔，柱塞 9 的头部在底部弹簧 3 和油液压力的作用下始终保持与斜盘 15 紧密接触，斜盘 15 与配油盘 6 固定不动且其法线与传动轴 8 的轴线成 γ 角。当液压泵电动机带动传动轴 8 一起旋转时，缸体 5 和柱塞 9 将随传动轴一起转动，并且柱塞 9 受斜盘、弹簧和油液压力的共同作用将在柱塞孔内做往复运动；由此柱塞、缸体和配油盘之间所形成的密封工作容积将发生增大或缩小的变化。当柱塞在（$3\pi/2 \to \pi/2$）的半周内旋转时，柱塞逐渐向外伸出使得柱塞底部的密封工作容积不断增大并形成局部真空，通过配油盘上的吸油窗口Ⅰ将油箱内的油液吸入；当柱塞在（$\pi/2 \to 3\pi/2$）的半周内旋转时，柱塞被斜盘逐渐压回使得柱塞底部的密封工作容积不断减小，通过配油盘上的压油窗口Ⅱ将油液压出泵外并进入液压系统中。如此缸体每转一转，每个柱塞将各完成一次吸油和压油；随着缸体的连续旋转，斜盘式轴向柱塞泵就会不断地吸油和压油。由于斜盘的倾角 γ 改变时柱塞的行程会发生改变进而导致泵的流

量产生变化（平均理论流量 $Q_T=\frac{\pi d^2}{4}DZn\tan\gamma$，其中 d 为柱塞直径，D 为柱塞在缸体上的分布直径，Z 为柱塞数，n 为传动轴的转速），所以斜盘式轴向柱塞泵可很方便地做成变量泵。

2）径向柱塞泵（见图 4-22）：主要由柱塞 1、定子 2、转子（缸体）3、衬套 4 和配油轴 5 等组成，其中转子 3 的圆周上均匀分布着径向柱塞孔，柱塞 1 可在这些柱塞孔内往复滑动，衬套 4 过盈配合于转子孔内并随转子一起旋转，定子 2 与配油轴 5 固定在一起，转子 3 和定子 2 相互偏置安装且偏心距为 e。当液压泵电动机带动转子 3 一起旋转时，柱塞 1 受离心力的作用下将在柱塞孔内往复滑动并紧贴于定子 2 的内表面上，由此转子 3、柱塞 1 和配油轴 5 形成了多个密封可变的工作容积。当转子 3 按图示方向顺时针旋转时，上半周的柱塞向外伸出，柱塞底部的密封工作容积逐渐增大并形成局部真空，油液便经衬套上的油孔从配油轴的吸油口 d 被吸入泵内；当柱塞随转子转至下半周时，柱塞在定子内表面的作用下被向里压入，柱塞底部的密封工作容积不断减小，通过配油轴上的压油口 c 将油液压出泵外并进入液压系统中。如此转子（缸体）每回转一周，每个柱塞将各完成一次吸油和压油；随着转子的连续旋转，径向柱塞泵就会不断地吸油和压油。配油轴固定不动，油液自配油轴上半部的两个油孔 a 流入，自下半部的两个油孔 b 压出；配油轴在与衬套接触的一段上加工有两个缺口以形成吸油口 d 和压油口 c，剩余的部分圆弧 f 形成封油区并封住衬套上的小孔以使吸油口 d 和压油口 c 不连通。当移动定子使偏心距 e 自正值变为负值时，不但泵的流量会发生变化，而且泵的进出输油方向（即吸油口与压油口互换）发生改变；此时的径向柱塞泵就被做成双向变量柱塞泵了。

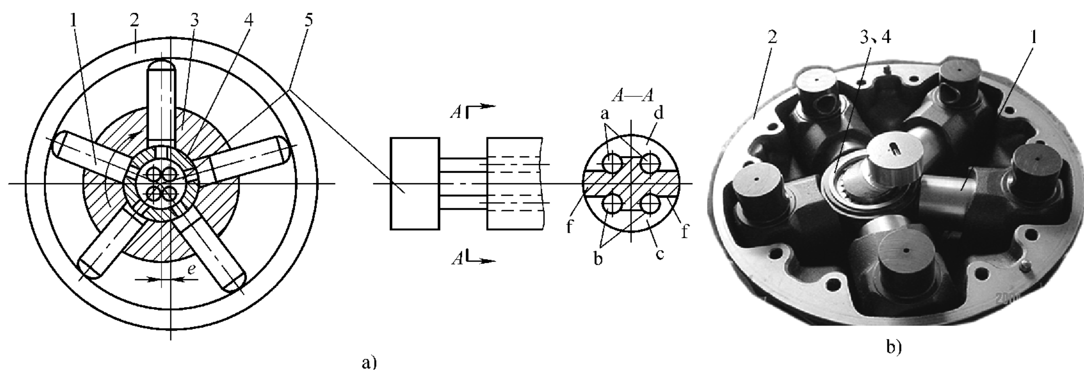


图 4-22　径向柱塞泵的工作原理图及其实物

a）工作原理图　b）拆开后的实物

1—柱塞　2—定子　3—转子（缸体）　4—衬套　5—配油轴

（2）PVB5－RSY－20－CM－11 斜盘式轴向柱塞泵在 PF6—S2500 数控磨床上的应用　适用于重型汽车 ST16 冲压式驱动桥壳轴头（$\phi91^{-0.072}_{-0.094}$mm 和 $\phi110^{+0.025}_{+0.003}$mm 及 $R12$mm 圆弧）外圆磨削加工的 PF6—S2500 数控磨床（详见第 2.1.2 节“3. 611D 在 PF6－S2500 数控磨床上的应用”），配置了包含 VICKERS 油箱、斜盘式轴向柱塞泵（轻型变量泵 PVB5－RSY－20－CM－11，见图 4-23）、单向阀、VICKERS 三位四通型电磁换向阀、HANNIFIN 液压缸和 Marposs 专用液压缸等液压元件在内的液压系统（见图 4-24），以分别实现机床尾座的夹紧/松开、端面量仪和径向量仪的前进/后退、机床防护门的开/关，从而满足机床自动化磨削加工的要求。

1）液压泵电动机启动/停止的电气控制（见图 4-25）：关好机床电控柜门并接通主电源→将三相 AC380V 电源引入机床→释放机械式按键面板 MCP483C 上的急停按钮使 S7－300PLC 输入信号 I32.3＝1→待 PLC 经接口 DB10.DBX104.7 接收到 NCK（840D 系统）传送的 NCK－CPU 就绪



PVB5-RSY-20-CM-11技术参数

几何排量/ml/r	10.55	
工作介质	抗磨液压油	高水基
最高转速/r/min	3600	1800
最高工作压力/MPa	21	7

威格士液压泵的规格：PVB5-RSY-20-CM-11（①②③④⑤⑥ ⑦ ⑧）

编号	描　述	详　细　内　容
①	基本型号	PFB为定量泵；PVB为变量泵；MFB为定量马达；MVB为变量马达；PVBQ为低噪声变量泵；PVBQA为低噪声高性能变量泵
②	公制排量	5为10.55ml/r；6为13.81ml/r；10为21.10ml/r；15为33.00ml/r；20为42.80ml/r；29为61.60ml/r；45为94.50ml/r
③	传动轴旋转方向	自轴端看，R为右转/顺时针；L为左转/逆时针；U为双向(仅马达)
④	斜盘运动形式	S为中心一侧(仅压力补偿)；D为中心两侧(仅手轮杠杆及推杆伺服变量)
⑤	油口位置	W为侧向油口单出轴；X为侧向油口双出轴；Y为轴向油口，可省略
⑥	主体设计序号	10为用于PFB20/45、M-PVB20/45、MFB20/45、MFB20/29/45、M-MVB20/29；11为用于MVB5 M-PVB29；20为用于PVB5/6/20/29/45，MFB5/29,PVBQ5/6；21为用于PVB45(带辅助泵)，PFB5，M-MFB29/PVB15；22为用于PVBQ20/29；30为用于PVB10；31为用于PFB10/45，PVB10/15，MFB10，MVB10；32为用于PVBQ10/15；50为对混合安装(英制轴伸和止口，公制进出油口)
⑦	变量形式	C为压力补偿；CC为最大排量可调压力补偿；CM为中压压力补偿；CMC为最大排量可调中压压力补偿；CG为遥控压力补偿(PVB45无)；CCG为最大排量可遥控补偿压力；CV为负载感受；CVP为限压式负载感受；CD为电控双级压力补偿；CCD为最大排量可调电控双级压力补偿；CDH为液压双级压力补偿；CCDH为最大排量可调液压双级压力补偿；CE为带启动阀压力补偿；D为推杆伺服(仅PVB45)；M为杠杆变量(PVB5/6/10/15)；H为手轮变量(仅PVB5/6/10/15)
⑧	控制部分设计序号	11为对所用的泵和马达

图 4-23　PVB5 - RSY - 20 - CM - 11 斜盘式轴向柱塞泵实物及技术参数

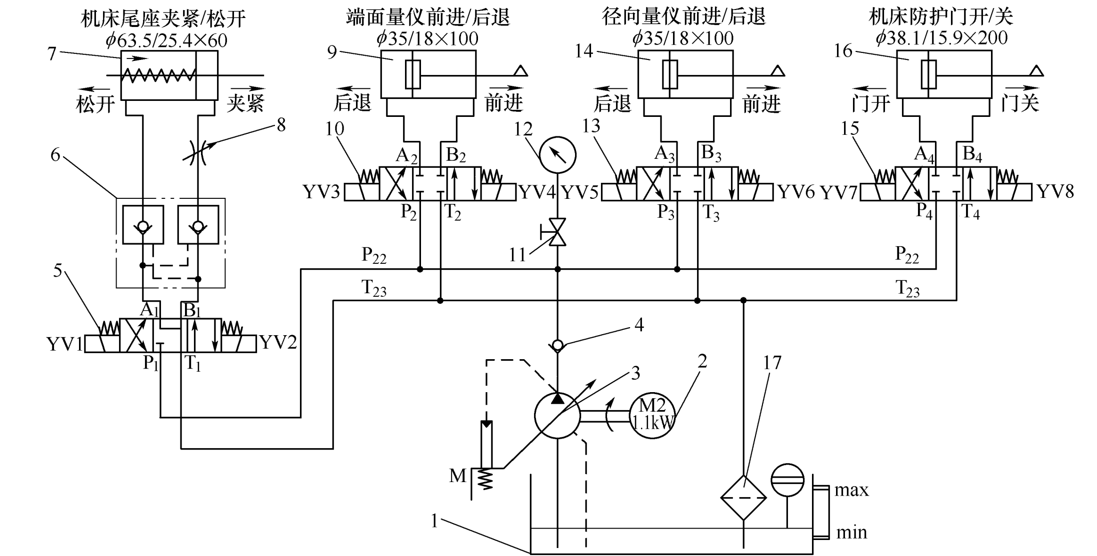


图 4-24　PF6 - S2500 数控磨床的液压原理图

1—油箱（68 升）　2—液压泵电动机（1.1kW，1500r/min）　3—斜盘式轴向柱塞泵（PVB5—RSY - 20 - CM - 11）　4—单向阀（RHZ16S）　5—三位四通型电磁换向阀（DG4V3—33C - MU - H7 - 60）　6—双液控单向阀　7、16—HANNIFIN 液压缸　8—节流阀（MK8G1）　9、14—Marposs 液压缸　10，13，15—三位四通型电磁换向阀（DG4V3—2C - MU - H7—60）　11—压力表开关　12—压力表（ϕ63，6MPa）　17—回油过滤器（RF - W60G25C - 3.1）

信号后→利用置位指令 S 将线圈 M200.0 置位为 1 状态（得电）并保持→同时利用复位指令 R 将线圈 M200.1 复位为 0 状态（失电）并保持→在电动机断路器 QM1 ~ QM7 未过电流的接通状态（PLC 输入信号 I40.3 = 1）下→Q32.1 线圈通电保持并经 SM322 数字量输出模块向外输出→中间继电器 KA2 线圈（DC24V）得电常开触点闭合→接触器 KM2 线圈（AC220V）通电主触点闭合→液压泵电动机 M2 接通三相 AC380V 而旋转，并带动 PVB5 - RSY - 20 - CM - 11 斜盘式轴向柱塞泵一同运转以重复吸油和压油过程→液压系统正常工作→一旦出现急停按钮被压下（I32.3 =

0）或液压过滤器堵塞（I32. 1 = 0）的情况→S7 - 300PLC 会利用复位指令 R 将正处于通电保持状态的 M200. 0 复位为 0 状态（失电）并保持→同时利用置位指令 S 将正处于断电状态的 M200. 1 置位为 1 状态（得电）并保持→处于通电状态的线圈 Q32. 1 = 0→KA2 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点断开→AC220V 停止向 KM2 线圈供电使其闭合着的主触点断开→液压泵电动机 M2 停止运转。

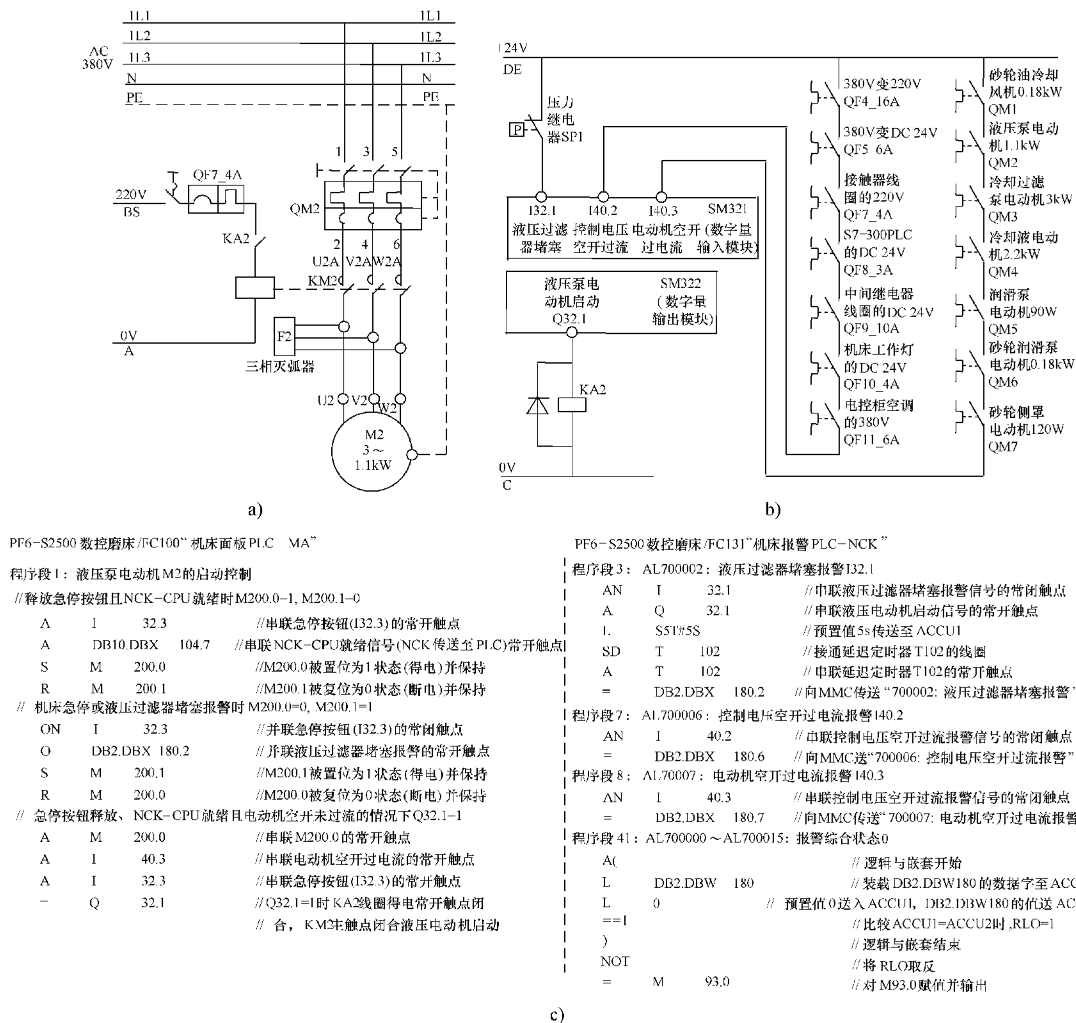


图 4-25　PF6 - S2500 数控磨床的液压控制电路及 PLC 程序

a）液压泵电动机的主回路　b）液压泵电动机的辅助控制回路　c）液压泵电动机控制的 PLC 程序（S7 - 300）

2）液压系统异常状况的监控（见图 4-25）：

① 当液压泵电动机因缺相运行、绕组匝间短路或长期过载运行而出现过电流时→对应的电动机断路器 QMn（n = 1 ~ 7）将由接通状态跳转为断开状态→并经 SM321 数字量输入模块向 S7 - 300PLC输入 I40. 3 = 0 信号→PLC 逻辑处理后通过接口信号 DB2. DBX180. 7 向 MMC 传送"700007：电动机空开过电流报警 I40. 3"，并在 840D 系统的 OP010 显示器上显示→一旦输入信号 I40. 3 = 0 则线圈 Q32. 1 = 0→KA2 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点呈断开状态→AC220V 停止向 KM2 线圈供电使其闭合着的主触点断开→液压泵电动机 M2 停止运转。

② 当 VICKERS 油箱内的过滤器被污物堵塞或滤芯容量不足时→处于接通状态的压力继电器

SP1 将断开→并经 SM321 数字量输入模块向 S7－300PLC 输入 I32.1＝0 信号→PLC 逻辑处理后通过接口信号 DB2.DBX180.2 向 MMC 传送“700002：液压过滤器堵塞报警 I32.1”，并在 840D 系统的 OP010 显示器上显示→随之液压泵电动机 M2 停止运转→此时可用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物及更换容量较大的滤芯→使 PLC 输入信号 I32.1＝1 即可恢复液压系统的正常工作。

（3）轴向柱塞泵的常见故障与排除　包括 PVB5－RSY－20－CM－11 轻型变量泵在内的轴向柱塞泵，常见的故障有泵不出油或输出油量不足、压力上不去或根本不升压、泵噪声大压力波动（振动）大、泵发热油液的温升过高、泵内外泄漏严重等。可能的原因及处理方法见表 4-5。

表 4-5　轴向柱塞泵常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
泵不出油或输出油量不足	1）因油箱内液面过低、吸油过滤器被污物堵塞、吸油管紧贴油箱底部、吸油管弯头过多或油液的黏度过高等，造成油液的吸入阻力较大而使得柱塞泵的输出油量不足、甚至吸不上油	加油至油标位（规定液面）；用干净的清洗油清洗滤芯或用现场的高压风吹掉滤芯上的污物；截短吸油管使其处于油箱 2/3 深度处；把含有较多弯头的吸油管更换为不含弯头的直通式吸油管；据地区和季节变化合理选用液压油的牌号且低温开机后空车预运转
	2）吸油管路裸露在大气中的管接头未拧紧或密封不严而进入空气，无法保证柱塞泵内的真空度，大气压力无法将油箱内的油液压入柱塞泵的吸油腔内	检查并排除吸油管路上密封不严之处，拧紧管接头
	3）齿轮副或皮带间接驱动的柱塞泵，因装配调整不到位使泵的传动轴上存在径向力，该力造成缸体和配油盘之间产生斜楔形间隙而导致单边磨损和压、吸油腔在一定程度上的互通，从而输出油量减少	在保证液压系统可正常工作的前提下，改用电动机直接驱动柱塞泵并用挠性联轴器进行联接，注意检测安装的同轴度
	4）柱塞泵的定心弹簧折断，使得柱塞回程不够或不能回程，引起缸体和配油盘之间失去密封性能	拆卸柱塞泵后更换定心弹簧，并重新装配
	5）配油盘与缸体结合面有污物而卡住，或结合面拉毛、出现沟槽等，使压、吸油腔互通而输出油量减少	拆卸柱塞泵后用什锦锉和 00 号砂布蘸油等方法，研磨并抛光配油盘与缸体结合面处；用干净的清洗油清洗各配件以去除污物
	6）柱塞与柱塞孔间磨损或拉伤造成轴向通槽而引起两者配合间隙增大，使压、吸油腔互通而输出油量减少	拆卸柱塞泵后，研磨柱塞内孔，电镀柱塞的外圆或更换新柱塞并与研磨后的柱塞孔配磨以保证两者的配合间隙符合规定要求
	7）对变量轴向柱塞泵；泵内摩擦等原因使得变量机构不能达到极限位置造成偏角过小，而导致压力不太高；因调整误差而导致压力较高	调整或重新装配变量活塞及变量头，使之活动自如，纠正调整误差等
	8）电动机虽旋转但泵轴不能回转致无法吸油，如漏装泵轴的平键、泵轴折断或电动机与泵间的联轴器损坏	重新安装平键；更换同规格的传动轴；更换同规格的联轴器并保证安装的同轴度

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
压力上不去或根本不升压	1）上述8条“泵不出油或输出油量不足”的故障原因均可能导致压力上不去或根本不升压	同以上8条
	2）变量轴向柱塞泵：变量头的倾斜角过小造成输出油量太小	适当增大变量头的倾斜角，压力即会上升
	3）对压力补偿变量泵；控制变量特性的弹簧未调整好，压力升高时流量迅速下降；或限位调节螺杆未紧固，压力升高时产生位移	重新调整控制变量特性的弹簧；限位调节螺杆调整后应紧固好锁紧螺母以防止压力升高时产生位移
	4）液压系统中其他元件存在故障：如安全阀未调整好，阀芯卡死在开口溢流的位置；压力表及压力表开关有毛病、测压不准；管路、管接头等泄漏严重	重新调整安全阀，保证阀芯活动自如：更换压力表或压力表开关；紧固管接头、更换密封元件或破裂的油管等
	5）液压泵电动机的供电电压太低或3相电压缺相运行致电动机转速太慢而造成泵不能升压	万用表检测供电电路是否正常，机床中的稳压装置是否起作用，排除缺相故障后重新运行电动机等
泵噪声大压力波动(振动)大	1）因油箱内液面过低、吸油过滤器被污物堵塞、吸油管紧贴油箱底部、吸油管弯头过多或油液的黏度过高等，使柱塞泵出现吸空现象	加油至油标位（规定液面）；用干净的清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上的污物；截短吸油管使其处于油箱2/3深度处；把含有较多弯头的吸油管更换为不含弯头的直通式吸油管；据地区和季节变化合理选用液压油的牌号且低温开机后空车预运转
	2）伺服活塞与变量活塞运动不灵活，出现偶尔或经常性的压力波动，如因油液太脏致污物卡住活塞后又恢复正常（污物被冲走）而引起的偶然性脉动；泵内配合件有拉伤或别劲而引起的经常性脉动	偶然性脉动时，先拆卸柱塞泵并用干净的清洗油清洗各配件以去除污物，再用滤油机对系统中的油液进行过滤或必要时直接换新油；经常性脉动时，拆卸柱塞泵后用什锦锉和00号砂布蘸油等方法研磨并抛光被拉伤的配件或直接更换新件，重新装配前用干净的清洗油清洗各配件以去除污物
	3）对变量轴向柱塞泵：变量机构的偏角太小使流量过小，内泄漏相对增大而不能连续对外供油，进而流量脉动引起压力脉动	适当增大变量机构的偏角，消除内泄漏
	4）柱塞球头与滑靴的配合松动	拆卸柱塞泵后铆紧柱塞球头与滑靴
泵发热致油液的温升过高	1）因吸油过滤器被污物堵塞、吸油管紧贴油箱底部、吸油管弯头过多或油液的黏度过高等，造成油液的吸入阻力较大而导致发热温升	用干净的清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上的污物；截短吸油管使其处于油箱2/3深度处；含有较多弯头的吸油管更换为不含弯头的直通式吸油管；根据地区和季节变化合理选用液压油的牌号且低温开机后进行空车预运转等
	2）柱塞与柱塞孔、配油盘与缸体结合面之间因磨损和拉伤，导致内泄漏增大而转化为热能造成温升	修磨柱塞与柱塞孔的配合面、抛光配油盘与缸体的结合面，使之紧贴并保证柱塞可在柱塞孔内自由往复滑动
	3）泵内运动副严重磨损、拉毛或毛刺未清除干净，致机械摩擦大和松动别劲，从而引起发热	修复或更换磨损的零件，装配前用干净的清洗油清洗各配件以去除污物
	4）泵内轴承磨损、传动别劲或传动转矩增大而发热	在保证电动机与泵轴同心的前提下更换支承轴承并适当预紧

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
泵内、外泄漏严重	1）缸体与配油盘、柱塞与柱塞孔等零件因磨损严重而导致内泄漏增大	修复或更换磨损的零件，装配前用干净的清洗油清洗各配件以去除污物
	2）变量活塞或伺服活塞磨损严重导致泄漏	对磨损严重的活塞进行电镀并磨削加工，或直接更换新件；装配前用干净的清洗油清洗各配件以去除污物
	3）液压泵及管路、管接头处的密封失效或紧固松动	更换泄漏处的密封元件，对松动处重新进行紧固

4.1.2　液压执行元件及故障

在液压系统中，作为执行元件的液压马达（又称油马达）或液压缸（又称油缸）是液压系统的重要组成部分之一，它们是将液压系统内的液体压力能转变为机械能的一种能量转换装置。通过液压马达的能量转换，可使系统向外输出一定的转速和转矩以驱动工作部件实现连续旋转运动；通过液压缸的能量转换，可使系统向外输出一定的推力/拉力和位移以驱动工作部件实现往复直线运动（摆动液压缸向外输出转矩可实现小于360°的摆角运动)。液压马达与液压泵在原则上讲是可逆的，但两者在结构等方面存在一定的差别（见表4-6)。根据液压马达和液压缸在数控机床上的应用范围，本书仅介绍液压缸的实例应用与故障排除。

表4-6　液压马达与液压泵的异同点

比较类型	比较项目	液压马达	液压泵
相同点	原则上可逆	输入液体压力能（压力油)，输出机械能(转矩和转速)	输入原动机机械能，输出液体压力能(压力和流量)
	结构上相似	齿轮油马达与齿轮泵、叶片油马达与叶片泵、柱塞油马达与柱塞泵所对应的吸油腔和压油腔的形成具有相似性，主要的组成零件相同	
	原理上相近	密封工作容积增大时吸入高压油、减小时压出低压油	密封工作容积增大时吸入油液、减小时压出高压油
不同点	工作性质不同	属于执行元件，可将输入的液体压力能转变为机械能而输出转矩和转速，机械效率高为目标	属于动力元件，可将原动机的机械能转变为液体压力能而输出压力和流量，容积效率高为目标
	旋转方向不同	输出轴的转向必须能正转和反转，其结构呈对称性	齿轮泵和叶片泵等泵的转向有明确规定仅单向转动
	泄漏油口不同	进油口、出油口及单独泄漏油口	除轴向柱塞泵外一般仅有进油口和出油口，内泄漏的油液与进油口相通
	效率与转速不同	容积效率比液压泵低，输出转速较低	容积效率比液压马达高，转速比较高
	其他不同处	齿轮式：进、出油口大小相同，齿数比齿轮泵多	齿轮泵：吸油口大压油口小，齿数比齿轮油马达少
		叶片式：叶片须径向安装，工作时依靠根部的燕式弹簧将叶片压紧在定子内表面上，仅有双作用式	叶片泵：叶片须斜置安装，工作时依靠根部的压力油和离心力作用将叶片压紧在定子内表面上

1. 液压缸的结构组成

液压缸是将液体压力能转变为机械能的一种能量转换装置，它可在输入高压油的前提下向外

输出一定的推力/拉力和位移，用以驱动工作部件实现往复直线运动（摆动液压缸向外输出转矩可实现小于 360°的摆角运动）；因其结构简单、工作可靠而被广泛应用于现代数控机床的液压系统中。

（1）液压缸的类型与特点　液压缸的类型较多，按作用方式的不同，可将其分为单作用式液压缸和双作用式液压缸两大类，其中前者在液体压力能的作用下仅可朝一个方向运动并需借助重力或复位弹簧等外力实现反向运动，而后者则可在液体压力能的作用下实现正、反两个方向的运动；按结构型式的不同，可将其分为活塞式液压缸、柱塞式液压缸、摆动式液压缸、增压式液压缸和伸缩式液压缸等，其中活塞式液压缸应用最多。

1）活塞式液压缸（简称活塞缸，见图 4-26）：根据活塞杆数目的多少和作用方式的不同，可将其分为单杆单作用活塞缸和单杆双作用活塞缸及双杆双作用活塞缸，它们各自均有缸筒固定型和活塞杆固定型两种安装方式。

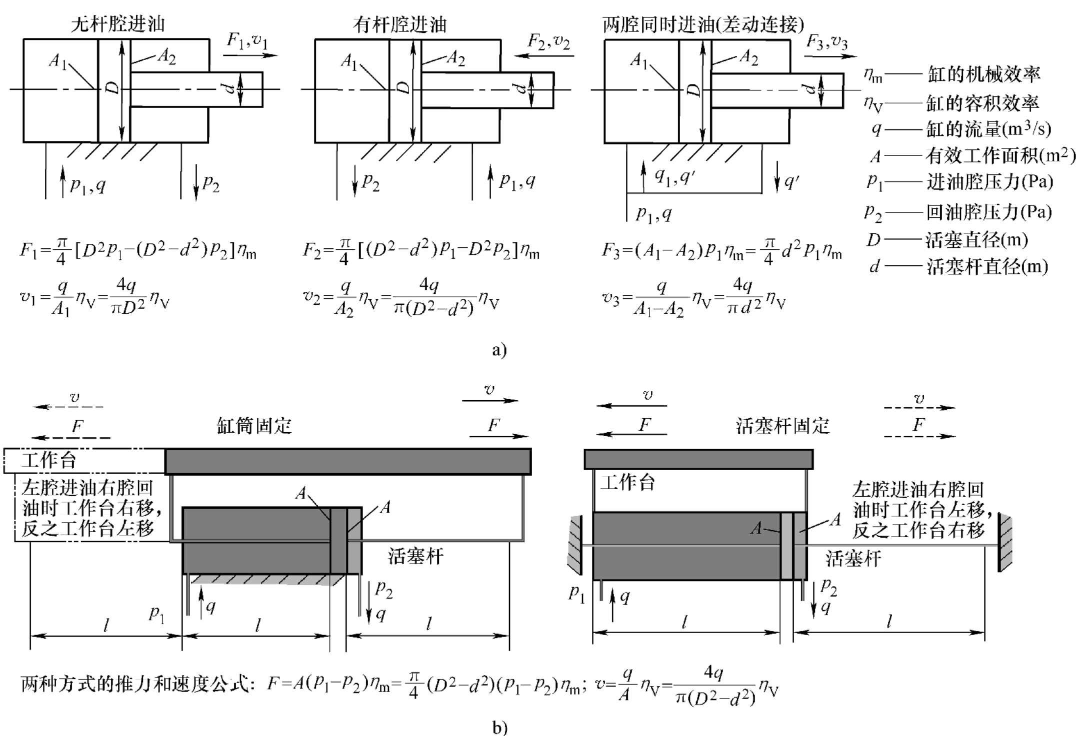


图 4-26　活塞式液压缸的结构示意图

a）单杆双作用活塞缸的 3 种进油方式　b）双杆双作用活塞缸的 2 种安装方式

① 单杆单作用活塞缸仅有一端安装活塞杆，工作时它可在压力油的推动下朝一个方向运动，并借助自重或复位弹簧等外力的作用实现反向运动。如前文图 4-8 中 MKS1632A × 750 型数控端面外圆磨床的尾座顶尖套筒液压缸。

② 单杆双作用活塞缸可在液体压力能的作用下实现正、反向运动，并依据工作油腔进油方式的不同将其分为无杆腔进油、有杆腔进油和两腔同时进油（又称差动连接，实际起作用的有效面积为活塞杆的横截面积 $A_3=\pi d^2/4$）3 种。该型式的液压缸无论是缸筒固定型还是活塞杆固定型，其运动部件的最大活动范围均为活塞有效工作行程的 2 倍，且因左右两腔的有效工作面积不相等而导致两腔所产生的推力和左右方向的速度也不相等。

③ 双杆双作用活塞缸的两端均有活塞杆伸出，并可采取缸筒固定或活塞杆固定的方式将其安装于工作部件处。前者是将活塞杆与工作部件（如工作台等）连为一体，通过压力油的作用，工作台可实现右移或左移且最大活动范围约为活塞有效工作行程的 3 倍，常用于小型机床（设备）上；后者是将缸筒与工作部件连为一体，通过压力油的作用，工作台可实现与缸筒固定型活塞缸相反方向的移动，同时工作台的最大活动范围约为活塞有效工作行程的 2 倍，常用于中型或大型机床（设备）上往返运动速度相同的场合。

2）柱塞式液压缸（简称柱塞缸）：主要由缸筒、柱塞、导向套、密封圈和缸盖等零件组成。其中柱塞可制成空心的以减轻重量，且柱塞与缸筒内壁不直接接触使得缸筒内壁无需精加工，缸盖上的导向套起导向作用用来保证柱塞的运动方向。柱塞缸属于单作用式液压缸（见图 4-27a），工作时可在压力油的推动下朝一个方向运动，并借助自重或复位弹簧等外力的作用实现反向运动。受柱塞直径较大（用以保证足够的推力和稳定性）重量沉的影响，柱塞缸多为垂直安装使用（水平安装使用易产生单边磨损）。柱塞缸常被应用于行程较长的场合，如龙门刨床、导轨磨床、大型拉床、液压升降机和轧机平衡系统等。若要求工作部件往复运动时可将柱塞缸成对使用（由两个柱塞缸分别实现相反运动，见图 4－27b）。

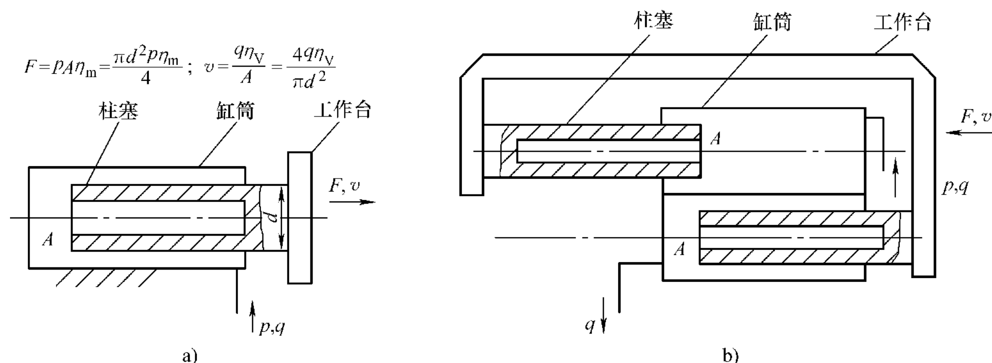


图 4-27 柱塞式液压缸的结构示意图

a）单向液压驱动 b）双向液压驱动

3）摆动式液压缸（简称摆动缸，见图 4-28）：主要由缸筒、叶片轴（亦称摆动轴）、定子块、叶片、左右支承盘和左右盖板等零件组成。定子块固定在缸筒上，叶片与摆动轴连为一体。根据叶片数目的多少，可将摆动缸分为单叶片式和双叶片式两种结构型式。其中单叶片式摆动缸在压力油的作用下可由摆动轴向外输出转矩 $T=\frac{\Delta pV}{2\pi}\eta_m=\frac{b}{8}(D^2-d^2)(p_1-p_2)\eta_m$（式中 D 为缸筒内径，d 为叶片轴直径，b 为叶片宽度，V 为每转排量，且 $V=\frac{\pi b(D^2-d^2)}{4}$，$\eta_m$ 为缸的机械效率），使工作部件实现摆动角度不超过 300°且角速度 $\omega=2\pi n=2\pi\frac{q}{V}\eta_V=\frac{8q\eta_V}{b(D^2-d^2)}$（$\eta_V$ 为缸的容积效率）的往复摆动。双叶片式摆动缸在相同条件下的理论输出转矩和输出角速度分别为单叶片式摆动缸的 2 倍和 1/2 且摆动角度不超过 150°。因摆动缸具有结构紧凑、输出转矩大、密封困难等特点，常被用于中、低压系统中以实现机床辅助装置（如送料和转位装置、液压机械手及间歇进给机构）的往复摆动、转位或间歇运动等。

4）增压式液压缸（见图 4-29）：又称增压器，是由活塞缸与柱塞缸组合而成的复合式油缸，可通过活塞和柱塞的有效工作面积之差使液压系统内的局部区域获得高压，它是一种增压器件（输入的低压油转变为高压油后供给液压系统的各支路）而不进行能量的转换。

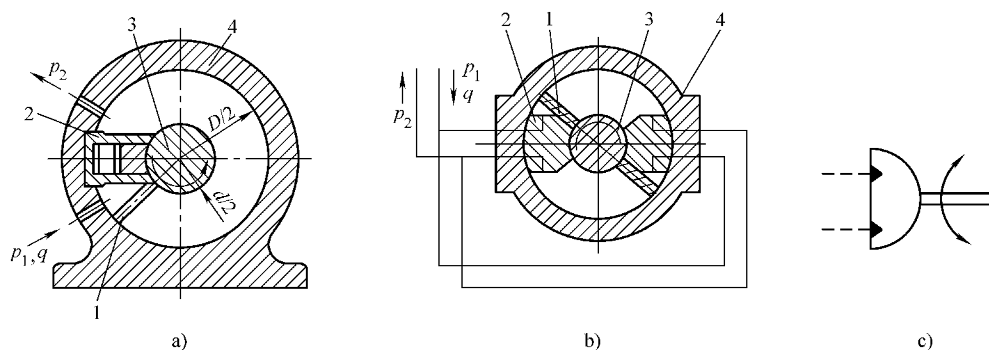


图4-28 摆动式液压缸的结构示意图
a）单叶片式摆动缸 b）双叶片式摆动缸 c）图形符号
1—叶片 2—定子块 3—叶片轴（摆动轴） 4—缸筒

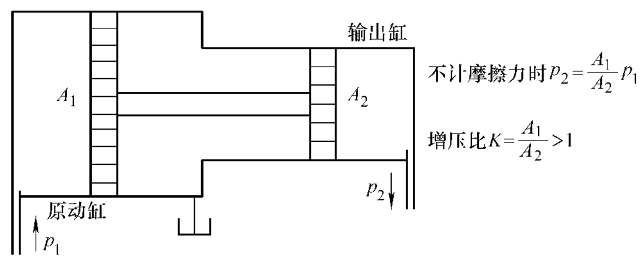


图4-29 增压式液压缸的结构示意图

5）伸缩式液压缸（见图4-30）：又称多级液压缸，是由两级或多级活塞缸套装而成的，其中前一级活塞缸的活塞杆是后一级活塞缸的缸筒。工作时液压缸的各级活塞在压力油的作用下会按照有效工作面积由大到小的顺序依次伸出（伸出速度由慢到快），以获得很长的工作行程；空载缩回时活塞一般按照有效工作面积由小到大的顺序收回，且收缩后的液压缸总长度较短、结构紧凑。该类型的液压缸常用于工程机械和其他行走机械上，如起重机伸缩臂和车辆自卸等。

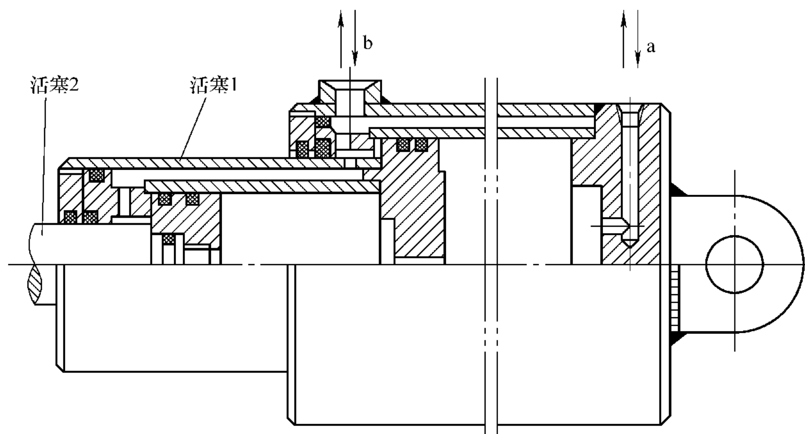


图4-30 伸缩式液压缸的结构示意图

（2）液压缸的结构组成（见图 4-31） 通常由缸筒（缸体）组件、活塞组件、密封装置、缓冲装置和排气装置等五大部分组成，根据液压缸的工作性质和特点，在结构设计时应综合考虑这五部分的搭配。

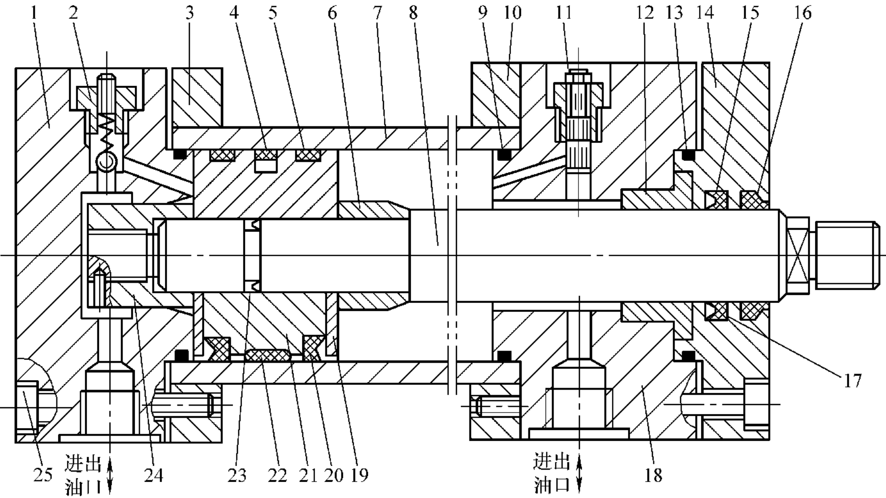


图 4-31 单杆双作用活塞式液压缸的结构图

1—后端盖 2—带放气孔的单向阀 3、10—法兰 4—格来圈密封 5、22—导向环 6—缓冲套 7—缸筒 8—活塞杆 9、13、23—O 形密封圈 11—缓冲节流阀 12—导向套 14—缸盖 15—斯特圈密封 16—防尘圈 17、20—Y 形密封圈 18—前端盖 19—护环 21—活塞 24—无杆端缓冲套 25—连接螺钉

1）缸筒组件：包括缸筒、前后端盖和导向套等，其中缸筒属于液压缸的主体环节，不仅要保证其内孔（一般采用镗削、铰孔、滚压或珩磨等精密加工工艺获得）具有较高的光洁度（表面粗糙度 0.1～0.4μm）以使活塞及密封件能在保证密封效果的前提下顺利滑动，还要使其具有足够的刚度和强度以承受很大的液压力；前后端盖分别装在缸筒的两端，通过焊接、法兰、螺纹、半环和拉杆等形式与缸筒进行连接（见表 4-7）并形成一个封闭的油腔用来承受液压力；导向套对活塞杆或柱塞起导向和支承作用，亦可直接用前缸盖孔进行导向（磨损后必须更换缸盖）。

表 4-7 缸筒与缸盖的典型连接形式及其特点

连接形式	焊接式连接	法兰式连接	螺纹式联接	半环式连接	拉杆式连接
结构示意图	焊接点	连接法兰	联接螺纹	连接半环	连接拉杆
特点	多用于缸筒长度较短的连接场合，属于永久性连接。此形式制造简单、连接强度高，但易产生焊接变形	常用于铸铁材料的缸筒结构连接。此连接形式加工和装配方便、连接可靠，但外形尺寸较大	一般用于外形尺寸小、重量轻的连接场合，分内螺纹联接和外螺纹联接。此联接形式的体积小、重量轻，但端部结构复杂且工艺要求较高	一般用于无缝钢管材料的缸筒结构连接，分外半环连接和内半环连接。此形式加工和装配方便、连接可靠、结构紧凑，但开槽削弱了缸筒强度	用于缸筒长度较短的中、低压液压缸，用 4 根拉杆将前后端盖和缸筒进行紧固。此连接形式径向尺寸大，结构简单，工艺性好，通用性强

2）活塞组件：包括活塞、活塞杆和连接件等。根据液压缸的工作压力、安装固定方式和工作条件的不同，活塞组件有整体连接、锥销联接、螺纹联接、焊接连接和半环连接等多种结构型式（见表4-8）。

表4-8　活塞与活塞杆的典型连接形式及其特点

连接形式	整体式连接	锥销式联接	螺纹式联接	焊接式连接	半环式连接
结构示意图					
特点	常用于小直径的液压缸中，将活塞和活塞杆做成整体结构。此连接形式简单可靠，但加工比较复杂	一般用于轻载场合的双杆活塞缸。此联接形式加工和装配方便	多用于机床上的单杆活塞缸。此联接形式结构简单、装拆方便，但需配置防松螺母，联接螺纹会降低活塞杆强度，且不适合高压系统	此连接形式结构简单，但易变形	多用于高压和振动较大的场合。此连接形式结构复杂、连接强度高、工作可靠，但装拆不便

3）密封装置：液压缸在工作时，由于压力差的作用以及缸筒与端盖、活塞与活塞杆、活塞与缸筒、活塞杆与前端盖等配合元件之间存在着间隙，会出现泄漏现象。泄漏分为外泄漏和内泄漏，其中外泄漏指液压缸内部的油液向大气中泄漏使油液受损失、环境被污染且存在着火危险，内泄漏指液压缸内部油液自高压区向低压区泄漏使油液发热、缸的容积效率降低。因此，必须在缸筒与端盖、活塞与活塞杆、活塞与缸筒、活塞杆与前端盖等配合元件之间设置密封装置，以有效防止油液的泄漏、确保液压缸动力的良好传递。液压缸的常见密封方法及其特点，见表4-9。有时液压缸的前端盖装有防尘装置以防止外界灰尘等脏污浸入液压缸内部。

表4-9　液压缸的常见密封方法及其特点

密封方法	结构示意图	特　　点
间隙密封		1）环形缝隙轴向流动理论——泄漏量与间隙的3次方成正比，故在低压、小直径的快速液压缸中，可减小相对运动元件配合面间的间隙（一般为0.01～0.05mm）来防止泄漏 2）通常在活塞的外圆表面开多条宽0.3～0.5mm、深0.5～1mm、间距2～5mm的环形沟槽（平衡槽），以使活塞具有自位性能（尽量消除径向不平衡力和减小摩擦力让活塞自动对中）和自润滑作用（油液储存在平衡槽内）并提高密封性能、有效减少泄漏量

（续）

密封方法		结构示意图	特　　点
活塞环密封		缸筒　活塞环　活塞　螺母　活塞杆	1）利用装在活塞环形槽内的弹性金属环（称为活塞环）紧贴于缸筒内部实现密封，一般用于高压、高速和高温的场合 2）此方法的密封效果比间隙密封好，可适用的压力和温度范围很宽，能自动补偿磨损和温度变化的影响，且摩擦力小、工作可靠、寿命长；但不能完全密封，活塞环的加工复杂，缸筒内表面的加工精度要求高
密封圈密封	O 形密封圈（截面为圆形）	缸筒　普通型密封　液压力　活塞 双向挡圈型密封　单向挡圈型密封	1）普通型密封：O 形圈装入活塞上的密封槽，其截面受压变形。无液压力时，利用 O 形圈的弹性对接触面产生预接触压力而实现初始密封；当密封腔充入压力油后在液压力作用下，O 形圈被挤向槽的一侧使密封面上的接触压力上升而提高密封效果 2）挡圈型密封：压力 >10MPa 时，O 形圈会被挤入间隙中而损坏，故在 O 形圈的低压侧设置聚四氟乙烯或尼龙制成的挡圈（厚度 1.25 ~2.5mm）。若双向承受超过 >10MPa 压力时，两侧均加装挡圈，以进行良好的密封 3）此方法适用于静密封（密封的耦合面间无相对运动）和速度较低的滑动密封，如缸筒与端盖、活塞与活塞杆间的密封。此方法结构简单、安装方便、价格便宜，可在 −40 ~120℃工作
	V 形密封装置（截面为 V 形）	压环　V形圈　支承环	1）由压环、V 形圈和支承环组成，安装时 V 形圈开口面向压力高的一侧，压力 >10MPa时可增加 V 形圈的数量来提高密封效果 2）此方法密封性能良好，适宜在压力超过 50MPa 温度为 −40 ~80℃ 的条件下工作，主要用于活塞杆的往复运动密封（动密封）
	V 形/唇形密封圈（截面为 Y 形）	宽断面Y形密封　带支承环的宽断面Y形密封　支承环	1）在压力油作用下唇边对密封耦合面产生较大的接触压力而达到密封目的。压力越大，唇边与耦合面贴合越紧，接触压力就越高，密封性就越好。据截面的长宽比例有宽断面和窄断面 2）安装时唇口端面应朝向压力高的一侧，在压力变化较大且滑动速度较高时使用支承环以固定 Y 形圈。此方法密封性好、耐压性强及寿命较长，主要用于往复运动密封（动密封）。压力 <20MPa 时选宽断面 Y 形圈，20MPa≤压力 <32MPa 时选窄断面 Y 形圈

4）缓冲装置：液压缸的活塞部件在快速退回至行程终端时，因惯性会撞击缸盖而引起噪声和振动甚至损坏液压缸；因此，必须在液压缸的端部设置缓冲装置（通过节流装置调节低压油腔内的油液）以使活塞部件快退至行程终端时减速并使速度接近于零。液压缸的常见缓冲装置

及其特点，见表 4-10。

表 4-10　液压缸的常见缓冲装置及其特点

缓冲形式	圆柱环状间隙式缓冲装置	圆锥环状间隙式缓冲装置	节流口可调式缓冲装置	节流口可变式缓冲装置
结构示意图	缸筒 活塞 缸盖 v δ	缓冲柱塞 v	节流阀 v 单向阀	三角节流槽 v
特点	圆柱形缓冲柱塞进入缸盖内孔时，缸盖与活塞间形成缓冲油腔，被封闭油液只能从环形间隙 δ 排出，使活塞降速实现缓冲。因 δ 不变致缓冲效果随活塞速度降低而逐渐减弱。此形式结构简单，制造成本低，多用于系列化的成品液压缸中	因缓冲柱塞为圆锥形，故环形间隙 δ 随位移量而改变，即节流面积随缓冲行程的增大而缩小，从而使机械能的吸收较均匀，缓冲效果比圆柱环状间隙式缓冲装置的好	缓冲柱塞进入配合孔后，缓冲腔油液经小孔节流而排出。用节流阀调节小孔的大小可改变腔内缓冲压力以适应不同的负载和速度工况。同时活塞反向运动时高压油自单向阀进入缸内可避免活塞因推力不足而启动缓慢或困难	缓冲柱塞上开有三角节流槽，节流面积随缓冲行程的增大而逐渐减小，使缓冲压力平缓变化。此形式可解决行程最后阶段的缓冲作用过弱问题，同时冲击压力小、制动位置精度高

5）排气装置：当液压油中混有空气或液压缸长期不用使空气侵入缸内时，液压缸内的最高部位便会聚积空气，进而使液压缸运动不平稳，出现振动、爬行或前冲等现象，严重时致系统不能正常工作。因此，必须在速度稳定性要求较高的液压缸或大型液压缸的两侧最高部位设置排气塞或排气阀等排气装置。水平放置且要求不高的液压缸一般不设置专门的排气装置，而是将进出油口布置在缸筒两端的最高处，使空气随油液排往油箱后再从油箱溢出。图 4-32 为常用排气阀的典型结构，两种排气阀都是在液压缸排气时打开，排气完毕后关闭。

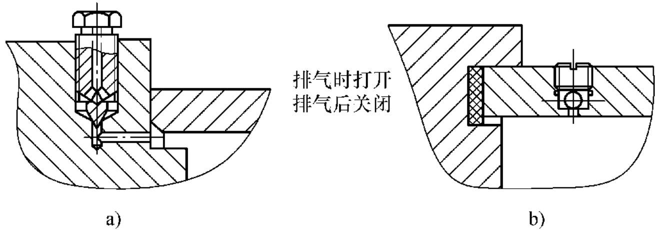


图 4-32　液压缸排气装置的典型结构

a）螺塞式排气装置　b）钢球式排气装置

2. 液压缸的常见故障与排除

作为执行元件的液压缸，常因液压油供应不正常或不供应、缸自身存在问题（如密封不良、磨损严重、缸筒内壁胀大、端盖破裂、活塞杆伸长、紧固螺栓断裂以及安装不良）、工作部件（如工作台、刀塔、液压机械手、机床导轨）被干涉等因素影响，出现动作不正常（向外输出的推力/拉力或转矩异常）或无动作、达不到规定的调节值而欠速、爬行、异常声音和抖动等现象，造成被驱动工作部件的往复直线运动或回转摆动失常；从而导致机床的自动加工任务不能完成且使工件表面的加工质量降低，甚至产生废品（工件报废无修复再利用的价值）和发生质量/设备事故。因此，维修人员有必要了解和掌握液压缸的常见故障和处理方法，以快速排除包含液

压系统在内的故障，使数控机床在最短的时间内恢复正常运转。

（1）液压缸不动作（含换向后不动作）的故障原因及处理方法　见表 4-11。

表 4-11　液压缸不动作（含换向后不动作）的故障原因及处理方法

故障原因	处理方法
1）系统的压力油未进入液压缸内或液压缸回油中途受阻	① 在判明液压泵正常供应压力油的前提下，先稍微松开液压缸一端的进油管接口，观察是否有油液漏出，并根据漏油量的大小来决定是否全部松开管接头（特别注意高压系统）
	② 若无油液漏出，或全部松开管接头后漏出量仍很小且手感压力不够，则说明压力油在进油口前的管路与控制阀处受阻，可顺藤摸瓜、溯本求源，依次查找受阻位置并排除
	③ 若全部松开管接头后有大流量油液流出且手感压力较大，则可断定故障来自液压缸侧
	④ 对回油路受阻与否的判定可参照上述 3 条执行。也可通过多次点动液压泵向缸内通入压力油，若液压缸略动一下便不再动作，则多数为回油路受阻
2）进入缸内压力油的压力、流量不够而导致液压缸不动作	① 在判明液压泵正常供应压力油的前提下，按后续章节介绍的压力控制阀和流量控制阀等导致压力、流量不够的原因进行故障分析与排除
	② 若液压泵供应压力油不正常，可按第 4.1.1 节“液压动力元件及故障”中介绍的内容进行故障分析与排除
3）进入缸内压力油的压力、流量虽符合条件，但液压缸仍不动作	① 缸内活塞/柱塞的密封严重破损或缸内腔拉伤出现较深直槽，造成缸内进油腔与回油腔串油。此时应更换破损的密封装置，修复缸内腔的拉伤，无法修复拉伤时需换新缸
	② 螺纹式连接的活塞与活塞杆，因锁紧螺母松脱而分成两件，造成缸内进油腔与回油腔串油。此时应重新紧固锁紧螺母并加装防松螺母或开口销等，使活塞与活塞杆为一体
4）液压缸滑动部位（如活塞与缸体孔、活塞杆与端盖孔等）因密封压缩过量或污物卡住致摩擦力过大甚至烧接咬死	① 适当松开密封压紧螺钉或修正活塞外圆表面的环形沟槽，使密封有合适的压缩余量
	② 对液压油进行过滤及在缸的前端盖上加装防尘装置，以防止污物进入缸内；通过分水排水器排掉油液内混有的水分，以防止水分进入缸内导致出现大面积锈斑和锈蚀剥落物，从而使液压缸产生烧结咬死现象
5）液压缸安装连接不良，使载荷的合力作用线与活塞杆运动的轴线不一致，产生“别劲”现象而致液压缸不动作	① 液压缸与工作部件连接时要严格找正以排除“别劲”：可将活塞杆分别放置在完全拉出、中间位置和完全退回缸内 3 个位置，用水准器或磁座百分表检查，在活塞杆完全退回缸内时，活塞杆可与工作部件顺利脱开或良好连接则说明安装良好
	②“别劲”现象在长行程液压缸上最为突出，除保证液压缸的良好安装外，还应尽量减轻活塞杆的重量（多用空心管）、适当增加活塞宽度及增设中间辅助支承等
	③ 活塞杆与工作部件（即负载）的连接尽量不采用刚性连接和固定连接的方式，而采用活动关节式连接或球头连接；对活塞杆侧带连接法兰的液压缸，要注意其法兰安装面与活塞杆轴心线的垂直度，以防止垂直度不好而产生“别劲”
	④ 液压缸底座的刚性不足引起“别劲”，应增强底座刚性以防止紧固连接时出现变形而产生“别劲”
	⑤ 载荷的反作用力使液压缸歪斜引起“别劲”，应在带负载的情况下检查活塞杆运动的轴线是否偏离载荷的合力作用线
	⑥ 与液压缸相连的滑动导轨面不平行缸的运动轴心线，或导轨的压板镶条过紧、导轨面上缺少润滑及污物落在导轨面上等；此时可用磁座千分表检查连接精度并进行垫板调整，松开导轨镶条防松螺钉后调整镶条螺栓使运动部件运动灵活，并保证 0.03mm 的塞尺不得塞入，然后锁紧防松螺钉，排除导轨面润滑分油器堵塞及润滑装置运转不良的故障，清除导轨面上的污物后并采取相应的防护措施（如机床防护罩等）

（续）

故障原因	处理方法
6）其他液压元件和液压回路方面存在故障	① 液压控制阀产生故障导致液压缸不换向，如溢流阀、顺序阀或减压阀等压力阀故障致工作压力调不上去，流量调节阀调节失灵致没有油液进入液压缸或自缸内流回油箱，换向阀不换向等，按后续章节介绍的压力控制阀和流量控制阀的内容进行故障分析与排除
	② 修理后缸的进、出油管（尤其是软管）接错而导致液压缸不换向或动作错乱；通常在拆卸前对管路做好标识以便装配时对号入座

（2）液压缸速度达不到规定的调节值而欠速（即使流量调节阀开至最大）的故障原因及处理方法　见表 4-12。

表 4-12　液压缸速度达不到规定的调节值而欠速的故障原因及处理方法

故障原因	处理方法
1）液压泵供油量不足、压力不够（按第 4.1.1 节“液压动力元件及故障”中介绍的内容进行故障分析与排除）	① 液压泵内部零件磨损使得容积效率下降，此时应更换泵内磨损的零件（叶片泵的配油盘等）
	② 油箱内液面过低、吸油过滤器被污物堵塞、吸油管紧贴油箱底部、吸油管弯头过多或油液的黏度过高等；此时应加油至油标位（规定液面），用干净的清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上的污物，吸油管去长使其处于油箱 2/3 深度处，含较多弯头的吸油管更换为不含弯头的直通式吸油管，据地区和季节变化合理选用液压油的牌号且低温开机后空车预运转
	③ 液压泵电动机的供电电压太低或 3 相电压缺相运行致电动机转速太慢，此时应用万用表检测供电电路是否正常、机床中的稳压装置是否起作用，排除缺相故障后重新运行电动机等
2）系统漏油	① 油管接头松动、密封破损等造成系统内、外泄漏增大，此时应紧固油管连接处，更换破损的密封装置（O 形圈和 Y 形圈等）或破裂的油管，修复液压缸内腔的拉伤，使进油腔、回油腔不串油等
	② 液压泵体、液压缸筒或端盖上存在气孔、砂眼缩松或裂纹等缺陷使用一段时间后被击穿，此时应更换新件，消除液压泵或液压缸的内泄漏/外泄漏
3）溢流阀溢流过多（多用于空载下的快速移动）	空载快速移动时载荷比预定数据大，使得溢流阀不应溢流的情况下产生溢流而造成进入液压缸内的流量减少；此时一方面查找造成载荷大的原因（工作部件缺少润滑或运动副的间隙过小致移动阻力大，液压缸与工作部件的连接不同轴等）并排除，另一方面适当调高溢流阀的压力以避免较低压力下油液溢流使液压缸减速移动
4）液压缸的进油腔与回油腔串油和内泄漏	导致液压缸欠速的串油比缸不能动作的串油在程度上要轻，一般仅从缸内活塞的密封部位泄漏少量油液或从活塞杆与端盖的结合密封处泄漏少量油液。对于采用间隙密封的液压缸，可根据环形缝隙轴向流动理论适当减小相对运动元件配合面的间隙，并在活塞外圆表面上开设多条具有一定宽度和深度的环形沟槽
5）活塞环密封的液压缸欠速	活塞环密封与 Y 形密封和 O 形圈密封相比，液压缸的内泄漏量要大。活塞环密封的液压缸在使用过程中因毛刺等使活塞环卡住不能张开而造成液压缸内泄漏增大时，可改善活塞外圆表面上的环形槽结构——槽两边给予适当倒角以避免滑动产生毛刺
6）液压缸中途变慢或停下来	对长行程液压缸，缸筒内孔壁在某一段区域内严重拉伤、发生膨胀或磨损严重时会导致局部区域的移动欠速；此时应修磨缸筒内孔壁使各部分尺寸一致，若无法修复时可直接更换新件

（续）

故障原因	处理方法
7）液压缸在行程两端或单端的速度急剧下降	通常液压缸两端装有缓冲装置以避免活塞部件因惯性撞击缸的前后端盖，但过缓冲将导致缸的速度很慢；此时可加大缓冲节流阀的开启程度以改变缓冲腔内的压力，必要时可适当加大节流小孔的直径或加大缓冲柱塞与端盖内孔间的环形间隙 δ
8）液压缸的连接存在“别劲”现象而导致欠速	多数原因是液压缸安装不良或与工作部件的连接异常而造成“别劲”，使液压缸负载增大、工作压力提高、内泄漏随之增大，进而移动速度降低，参照前文“液压缸不动作”项予以排除
9）多缸并联的液压回路中空载阻力大的一个或几个液压缸欠速	一台液压泵带动 2 个或 2 个以上的液压缸时，因泵的流量不能满足这几个液压缸同时运行的总流量要求而出现空载阻力大的一个或几个液压缸欠速（泄漏也会造成此现象）；此时可更换较大规格的液压泵，并采取措施减少泵的泄漏
10）蓄能器容量不足或充气压力不够时，蓄能器不能可靠补液使液压缸欠速	此时应重新校核蓄能器并尽量选大一些，补充蓄能器的氮气，适当提高蓄能器的充气压力

（3）液压缸爬行（低速运动中一快一慢、一跳一停或时动时停）的故障原因及处理方法见表 4-13。

表 4-13　液压缸爬行的故障原因及处理方法

故障原因	处理方法
1）液压缸内部进空气（此为爬行最常见的原因之一。缸内空气起蓄能器作用，压力升高空气蓄能则缸速变慢；当供油压力升高至克服静摩擦力后活塞开始运动，受活塞阻力减少为动摩擦阻力的影响及缸内积存空气能量的作用，活塞将增速运动。一旦压力又低于克服动摩擦阻力所需的压力值时活塞将减速运行或停止以等待压力的升高，此时便出现爬行）	① 油箱内液面过低、吸油过滤器被污物堵塞、吸油管紧贴油箱底部、吸油管弯头过多或油液的黏度过高等，此时应加油至油标位（规定液面），用干净的清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上的污物，吸油管去长使其处于油箱 2/3 深度处，含较多弯头的吸油管更换为不含弯头的直通式吸油管，据地区和季节变化合理选用液压油的牌号且低温开机后空车预运转
	② 液压缸内形成负压时空气乘隙而入，如垂直安装的液压缸因自重下落时，如回油侧无足够的背压而使回油腔的压力可能由正压变为负压，尤其是活塞杆密封不良或缸的密封设计不合理时进空气现象更严重；此时可采用具有方向性的唇形密封（如 Y 形）且自唇缘内侧加压等
	③ 液压缸无排气装置或排气装置设置位置不当（如未设置在缸的最高处）使缸内空气无法可靠排出，对无排气装置的液压缸，可先稍微松动缸两端进出油口的管接头并使缸往复运行数次以进行排气，直至管接头处漏出的油液中不再含有气泡且由白浊变为清亮，说明空气已排除干净，若此法无法排净缸内空气则可采用加载排气或灌油排气的方法来排除缸内空气；对排气装置的位置设置不当的液压缸，应改变排气装置的位置使其位于液压缸两端的最高部位
	④ 液压泵装在低处、液压缸装在高处时，停机后的油液因重力下落并经阀和泵流回油箱，如此造成管路内产生负压使得空气乘隙而入；或空气自管路密封不良的部位侵入液压系统内。此时应加强管路的密封，并在液压泵压油口后加装单向阀及系统的回油管上增设背压阀
	⑤ 系统的回油管高出油箱的油液面，而停机后的油液因重力下落或通过外泄漏流回油箱等处使得空气乘隙而入：此时应将回油管浸入油箱液面内一定的深度，将其管口设计成 45°斜切口、面朝油箱内壁并距箱壁 100mm 左右为宜，使回油管的直径足够大等

（续）

故障原因	处理方法
1）液压缸内部进空气（此为爬行最常见的原因之一。缸内空气起蓄能器作用，压力升高空气蓄能则缸速变慢；当供油压力升高至克服静摩擦力后活塞开始运动，受活塞阻力减少为动摩擦阻力的影响及缸内积存空气能量的作用，活塞将增速运动。一旦压力又低于克服动摩擦阻力所需的压力值时活塞将减速运行或停止以等待压力的升高，此时便出现爬行）	⑥ 排气装置未密封而进空气，如钢球式排气装置因毛刺/污物、锯齿状磨损凹坑等使钢球卡住或错位而不能密封；此时可对放气单向阀进行研磨清洗去除毛刺及改变螺塞式排气装置结构等
	⑦ 自液压缸至换向阀间的管路容积大于液压缸的容积（此情况不多见），液压缸启动后推动活塞排出的油量会积存在液压缸至换向阀之间而不能回流油箱，如此该部分油液内含有的空气无法排掉并在管路与液压缸间流动；此时可在靠近液压缸的管路最高处加装一个排气阀
	⑧ 管路比液压缸的位置高，虽然缸的最高处设有排气装置，但浮向管路最高处的空气难以通过液压缸的排气装置排掉；此时可降低管路的高度或在管路最高处加装一个排气阀
2）液压缸自身问题导致爬行出现	① 液压缸因自身装配及与工作部件连接不良——如活塞杆与活塞的同轴度差、活塞杆全长或局部弯曲、缸内孔的直线性差、缸的导向套与活塞杆偏心、活塞杆有拉伤等，产生“别劲”造成摩擦阻力增大、接触面的接触压强增大，进而导致滑动面间断性地断油、出现爬行。此时可修复活塞杆的拉伤，更换弯曲的活塞杆及直线性好的缸筒，更换缸的导向套使其与活塞杆同心，重新加工活塞使其与活塞杆同轴，用磁座百分表检查并调整缸与工作部件的连接等
	② 缸筒内孔因异物和水分进入而产生局部拉伤、烧接等现象，使得这些位置上摩擦阻力增高，进而缸不能平滑运动、出现局部行程段内爬行现象；此时应修磨缸筒的内孔并保证直线性
3）液压缸在缓冲行程（低速运动）中出现爬行	① 若调大缓冲装置的节流阀开口时爬行现象消失而关小时又出现爬行，则爬行是由缓冲装置引起的；若节流阀开口无论开大与关小爬行均不消失，则是其他原因导致爬行出现
	② 缓冲装置加工不良：如缸筒的端面与缸内孔不垂直使装上的端盖孔轴线与缓冲柱塞成一定角度而“别劲”，缸筒的末端弯曲使缓冲柱塞与端盖内孔不同心而“别劲”，缸筒外螺纹或端盖内螺纹与轴中心线不同心使缓冲柱塞与端盖内孔不同心而“别劲”，端盖内孔的凸台偏心或缓冲柱塞与该内孔凸台不同心使缓冲柱塞插入缸盖内孔时“别劲”，活塞与缸筒内壁的配合间隙过大使活塞在缸筒内径向浮动和偏斜而导致缓冲柱塞与端盖内孔不同心产生“别劲”，均会在缓冲行程内产生爬行。此时可在缸筒内孔精加工完毕后以内孔定位进行缸筒端面及其外螺纹的加工，端盖缓冲孔加工完毕后以孔定位加工其内孔凸台，适当控制活塞与缸筒内壁的配合间隙以缓冲柱塞进入端盖内孔后不“别劲”为原则等，问题严重者需更换新配件
	③ 结构和使用方面的问题致缓冲“别劲”产生爬行，如带密封圈的活塞与缸筒内壁的滑动间隙远大于缓冲柱塞与缸盖内孔的间隙；此时可通过更换密封圈来减小活塞与缸筒内壁的配合间隙
4）其他液压元件存在故障导致爬行出现	① 液压泵的内部零件磨损致内泄漏量增大，使输出压力和流量的变化较大或压力流量不足；负载大时因泄漏而压力不能增高使液压缸降速或停止，一旦系统压力又升高时液压缸便会快速向前一跳，如此循环产生爬行。可按第4.1.1节“液压动力元件及故障”的内容进行排除

（续）

故障原因	处理方法
4）其他液压元件存在故障导致爬行出现	② 缓冲装置的节流阀开口受污物堵塞流量减少，污物被冲掉时流量又增加，液压缸产生爬行。此时应对液压系统内的油液进行彻底过滤并清除油箱内的污物，更换为过滤能力强的滤芯
	③ 其他阀类零件因磨损拉毛或配合间隙过大，使部分高压油与低压油互通引起压力不足。此时更换这些阀类零件中磨损拉毛的配件，或直接更换问题阀类零件
	④ 润滑油稳定器不良、静压导轨的毛细管节流器等因污物或其他原因被堵塞等造成爬行
	⑤ 密封不良——如密封调节过紧或压缩余量过大等，也会造成爬行
5）工作部件（负载）侧存在故障导致爬行出现	如液压缸与工作台或床身相连接的部分刚度不足，与缸连接的导轨刚性不好有显著磨损或变形，导轨压板和镶条的间隙过小等；此时可加大加厚连接支座及活塞杆端部紧固螺母的接触面积，调整导轨压板和镶条的间隙，刮研导轨并用1000#油石抛光等

（4）液压缸在运行过程中产生不正常声音和抖动的故障原因及处理方法　一是液压缸内进入空气而产生不正常声音和抖动，可参照表4-13“液压缸爬行的故障原因及处理方法”中相关内容进行处理。二是滑动金属面的油膜被破坏或因拉毛/配合过紧、接触面压力过高而产生摩擦声，此时应立即停机查找摩擦声的发出部位并改善该部位的油液供应，刮研/抛光拉毛点或适当调整滑动面间的配合间隙，若不停机继续运转则可能导致滑动面烧结。三是V形密封圈（尤其是丁腈橡胶材料的）、L形/U形防尘密封圈被过度压紧而产生摩擦声和振动，此时应适当调整密封圈使用部位的配合间隙或在保证密封效果的前提下更换小号尺寸规格的密封元件。四是液压缸的缸筒内壁胀大或活塞的密封被破坏使缸内进油腔的压力油经缝隙高速流入回油腔而产生异常声响，此时应更换内壁胀大的缸筒及活塞上的密封件，必要时通过选用内孔直径小些的缸筒或外径大些的活塞来适当减小活塞与缸筒内壁间的配合间隙以消除内泄漏。

（5）液压缸变形（如缸筒内壁胀大、活塞杆伸长）和破损（如活塞杆、端盖及紧固螺栓破裂或断裂）的故障原因及处理方法　一是液压缸设计时未按“容许耐压范围为额定工作压力 p_1 的1.5倍”规定进行强度计算和刚度校核（见图4-33）而造成缸筒变形、端盖拉裂、紧固螺栓拉断、液压缸的安装基础和框架严重变形等。二是活塞杆因材质和热处理不好及其端部所连接的工作部件与液压缸移动方向不一致等问题，造成活塞杆端部的螺纹被拉断或活塞杆断裂；此时可选用适合重负荷下工作的合金结构钢40Mn2（调质处理）制作活塞杆，对活塞杆端部螺纹的尾部凹槽处倒圆角凹槽而不是直角沉割槽以消除应力集中，用磁座百分表检查并调整活塞杆与工作部件的连接以使活塞杆完全回退缸内时恰好与工作部件脱开等。三是液压缸的缸筒因焊接和加工不良造成焊接部位和加工部位破损，此时应调派焊接水平高的焊工采用合理防焊接变形手段重新焊接缸筒（焊接前对焊接部位进行打坡口或修磨处理），对精加工完毕的缸筒内孔采取内孔定位的方式继续进行缸筒端面及其外螺纹的加工等。四是液压缸端盖的压紧螺栓在紧固时因受力不均匀及螺栓结合面的粗糙度存在差异而断裂，此时可先校核压紧螺栓的抗拉强度并选用安全系数大的高强度螺栓，对已组装好的液压缸按照一定的拧紧顺序（如4条压紧螺栓时需对角紧固）进行加压后的再次紧固，同时利用防松钢丝（亦称施封锁）穿入所有压紧螺栓头部的小孔内将其连接起来以防止松弛。

（6）液压缸泄漏（内泄漏和外泄漏）的故障原因及处理方法　密封圈液压缸的固定密封部位（缸筒与端盖间、进出油口的连接处、活塞与活塞杆的连接处）和相对滑动部位（活塞与缸

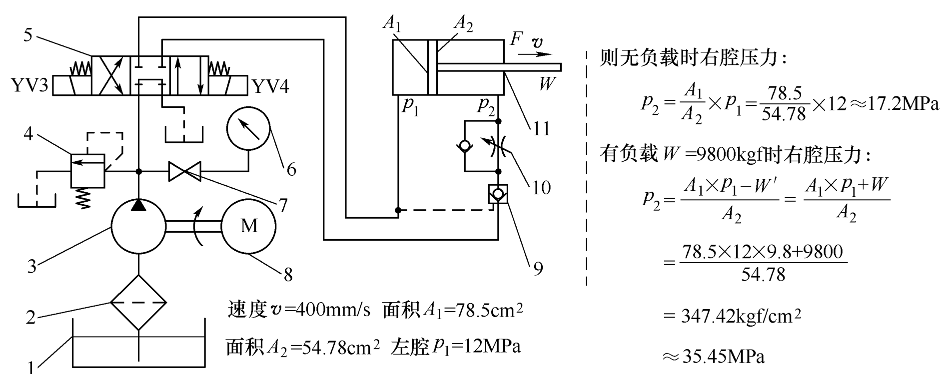


图 4-33　单杆双作用活塞式液压缸因设计原因而使缸筒膨胀变形

1—油箱　2—吸油过滤器　3—单向定量液压泵　4—溢流阀　5—三位四通型电磁换向阀　6—压力表　7—压力表开关　8—液压泵电动机　9—液控单向阀　10—单向节流阀　11—单杆双作用活塞式液压缸

筒内孔之间、活塞杆与端盖孔之间)，常因起密封作用的零件表面与密封接触面的配合尺寸不对或拉伤而出现纵向伤痕、密封圈被挤出和拧扭、毛刺或尖角使密封圈的唇边受损、密封材质与液压油不相容使密封圈膨胀劣化等情况而产生油液泄漏现象。此时可对出现毛刺或拉伤划痕的缸筒内壁、端盖内孔、活塞杆外表面等零件进行研磨抛光处理或直接更换新件来消除缸内油液的泄漏问题；对于密封不良造成的缸内油液泄漏，可参照图 4-34 所示的因果图进行针对性处理。

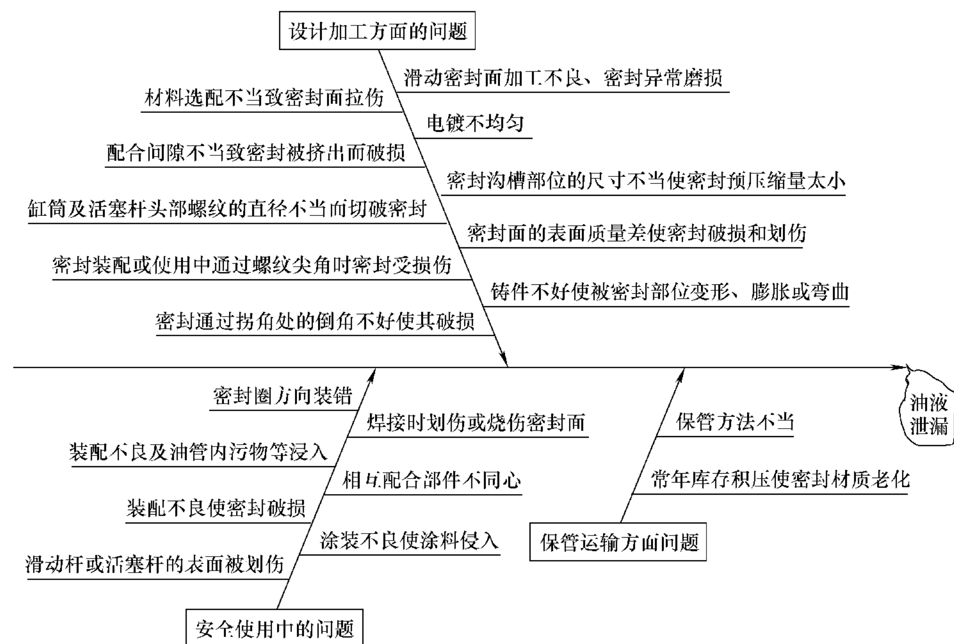


图 4-34　密封不良造成缸内油液泄漏的因果图

4.1.3 液压工作介质及故障

通过液压系统的定义“液压系统是以液体为工作介质，依靠液体的压力和体积分别传递动力和运动的一种装置，它主要由动力元件（液压泵）、执行元件（液压马达或液压缸）、工作介质（液压油）和控制元件（液压控制阀）及辅助元件五部分组成”，可知液压油是液压系统实现运动和传递动力所不可缺少的传递载体，正如当今的数控机床是利用数字化的逻辑电信号控制机床的机械运动过程（包含主轴驱动和进给驱动、工件的夹紧和松开、刀具的选择、刀具和工件的相对位置、切削液的开启和关闭、各机械耦合部件的润滑及相应部位的冷却降温等）一样，液压系统是通过具有一定流量和压力的液压油在系统内部的流动来实现机床工作部件往复直线运动、旋转运动或定角度摆动的。一旦系统内的液压油受到包括型砂、芯砂、切屑磨粒、焊渣、锈片、灰尘、棉纱、绒毛、碎布、小昆虫、化学变化的生成物（如氧化物、树脂胶状物）、水力作用的生成物（如气穴磨损物）、水分等在内的污染物影响而被污染，或因自身性能不好而引起液压元件锈蚀、异常磨损、动作不良和调节不畅等故障，以及与液压密封元件不相容而造成液压元件锈蚀、密封膨润老化和不溶性油泥等故障，最终导致液压系统不能正常运行或停止运行、被驱动的机床工作部件出现爬行、抖动、异常声音、动作不良或无动作的故障。因此，维修人员有必要了解和掌握液压油的常见故障和处理方法，以快速排除故障使数控机床在最短的时间内恢复正常运转。

（1）液压油被污染的故障原因及处理方法　对于液压油中污染物的种类、可能引起的故障及污染控制措施，见表4-14。

表4-14　液压油污染物的种类、引起的故障及污染控制措施

<table>
<tr><th>序号</th><th>污染物种类</th><th>引起的故障</th><th>污染原因</th><th>污染控制措施</th></tr>
<tr><td>1</td><td>氧化生成物、油泥、淤渣</td><td>腐蚀金属、卡死滑动副、阻塞滤油器和节流口</td><td>液压油老化、温度高及水分等存在</td><td rowspan="8">1）严格要求操作者执行设备自主保全的相关要求，并由专人定期检查设备保全的执行情况，以消除和尽量避免污染源的出现
2）选用合适的清洗油/液、采用正确的清洗方法对液压元件及其零部件和液压系统进行清洗
3）选用过滤精度和过滤效率搭配得当的过滤器，并将其安装（串联、并联或独立为回路）在液压回路的合适位置</td></tr>
<tr><td>2</td><td>水</td><td>生锈、润滑性能降低</td><td>空气中水分凝结，油冷却器破裂漏水</td></tr>
<tr><td>3</td><td>空气及其他气体</td><td>气穴、气蚀性腐蚀</td><td>密封失效、蓄能器充填气体漏出、充气太足、皮囊破裂、溢出氮气等</td></tr>
<tr><td>4</td><td>异种液体</td><td>降低液压元件的性能</td><td>清洗不良混入其他液体，装置不良等</td></tr>
<tr><td>5</td><td>金属微粒、鳞片水垢、研磨粉、涂料剥落片</td><td>阻塞滤油器及液压元件，造成动作失常、卡死阀芯、加剧磨损</td><td>清洗不干净，油漆质量不好，涂膜老化，磨损微粒</td></tr>
<tr><td>6</td><td>密封橡胶微粒</td><td>动作失常、堵塞、卡死</td><td>密封材料破损、破裂</td></tr>
<tr><td>7</td><td>土砂、尘埃</td><td>滑动部位磨损、堵塞、卡死</td><td>由大气带入，环境恶劣</td></tr>
<tr><td>8</td><td>棉纱、纤维</td><td>动作失常、堵塞、卡死</td><td>清洗不干净</td></tr>
</table>

1）零部件等散件的清洗：零部件等散件是指液压元件中各零件、管路、油箱及密封件等，这些散件上一般沾有大量油污、防锈保护层及表面氧化物等多种脏物，重新装配前必须使用不同种类的清洗剂进行浸泡和清洗。具体方法如下：

① 将各类零件浸渍在氢氧化物或硫酸钠等脱脂性强的溶液中一段时间（最长达48h），待油污和污垢松脱后用各种洗刷工具仔细清洗并用温水冲洗一次。

② 将各种散件浸渍在酸性清洗剂（配比为20%～30%盐酸）内30～40min，再用各种洗刷工具仔细清洗并用温水冲洗一次。

③ 将各种散件浸渍在碱性清洗剂（配比为10%氢氧化钠）内15min，再用各种洗刷工具仔细清洗并用温水冲洗一次。

④ 将各种散件进行干燥后，涂上防锈剂或立即投入装配。短期内不装配时需用塑料薄膜盖上。

⑤ 在一般性工业现场，可使用清洗煤油进行刷洗；但禁止使用汽油。

⑥ 可用高速液流对最难清洗干净的软管进行喷洗，硬管亦可参照此法执行。

⑦ 目前，在液压元件生产厂家普遍采用超声波清洗各种散件。

2）液压元件的清洗：对新购买的存放时间不超过2年的液压元件（出厂时已被清洗干净并用塑料塞封住油口），可不必清洗元件内部，仅参照上述关于散件的清洗方法清洗元件外部。清洗元件外部时，所有的油口堵头、管密封和塑料帽不可拆除。

3）使用过程中液压系统的清洗：液压系统随数控机床运转半年至一年后，因液压油产生化学劣化（组织成分的变化）、物理劣化（黏度和比重的变化）、生物劣化及温度引起的劣化，而使得油箱或系统内出现堆积沉淀物或油液的比重增加和颜色变暗及烧焦臭味和腐烂臭味等；此时需更换液压油并根据需要对液压系统进行清洗。清洗步骤如下：

① 在温度较高时彻底排掉废油，拆开一部分管路和控制阀，检查管内和阀内的锈蚀、污物黏附状况并进行理化分析以排查油液的污染程度及粘着的金属微粒。

② 当系统管路和油箱较干净时，可采用与工作油液同黏度或同种液压油进行清洗；当系统管路和油箱不太干净时，可采用稍低黏度的清洗油进行清洗。

③ 为使系统内的附着物容易游离脱落，可将清洗油加热至50～60℃、清洗压力设为0.1～0.2MPa且流速尽可能大些以带走污物。

④ 在清洗回路的进油口安装50～100μm的粗过滤器、回油口安装10～50μm的精过滤器。先用网眼稍粗的过滤器冲洗一段时间并每隔0.5h清扫一次过滤器，再改用网眼较细的过滤器（滤芯）进行清洗且延长清洗的时间间隔。对污染较严重的机床液压系统，应先用洗涤作用好的低黏度油液清洗，再采用与使用油相近黏度的清洗油清洗。

⑤ 一边清洗一边用木锤敲击各液压管路尤其是管路弯曲和焊接部位，以加快污物脱落的速度；但不可用力过猛，以免油管变形和破裂。

⑥ 清洗结束后，应在热状态下彻底排净清洗油，包括液压泵、控制阀、管路和油冷却器内积存的清洗油；亦可松开管路排油，用干燥清洁的压缩空气吹扫清洗油或加入少量工作油液带走清洗油。

⑦ 彻底排净清洗油后，应立即加入新的工作油液并马上进行短时的试运转。

⑧ 国外有时采用不停机的清洗方法进行油液清洗，即在液压系统循环运转过程中向油液内加入5%左右的专用清洗溶剂。此法虽简便，但清洗剂的加入会降低油液的黏度，此时还应适当追加高黏度的油液。

4）除清洗外，过滤对液压系统也是不可缺少的控制油液污染的重要手段。通过过滤，可防止切屑和其他污染粒子的侵入，并清除液压系统中已有或不断产生的污染颗粒与磨损颗粒，维持液压元件所允许的污染程度（污染敏感度）。通过对过滤器积留污染物种类的分析，可帮助维修人员查找磨损部位、及早进行故障隐患的分析并及时进行处理，可防故障于未然。

① 过滤器的选用原则：应综合考虑过滤器的过滤效率（对某一尺寸颗粒的过滤能力）、过滤

精度（可放过多大的污物颗粒，见表4-15）、压力损失（规定流量通过过滤器时进出口之间的压差）、流通能力（规定的压力损失下可流过的量，见表4-16）及纳垢容量（压降达到规定数值时积聚在过滤器中污垢重量的最大值）等指标，来选择网式过滤器（装在液压泵的吸油管上）、线隙式过滤器（装在回油路和液压泵的吸油口处）、纸质过滤器、磁性过滤器、烧结式过滤器、不锈钢纤维过滤器或合成树脂过滤器等。

表4-15 液压元件和液压系统对过滤精度的要求

液压元件	过滤精度/μm	液压系统	过滤精度/μm
滑动元件	<工作间隙的100%	低压用液压系统	100~150
节流孔	<节流孔径的100%	7MPa液压系统	50
橡胶密封	25~30	10MPa液压系统	25
溢流阀	15~10	14MPa液压系统	25
流量阀	15~10	往复运动	15
低增益伺服阀	10	速度控制装置	10~15
高增益伺服阀	5	机床进给	10
叶片泵与叶片马达	30	14~20MPa重型液压系统	10
齿轮泵与齿轮马达	50	带电液伺服阀	2.5~5
柱塞泵与柱塞马达	20	带精密电液伺服阀	2.5
液压缸	30		

表4-16 过滤器容量和压力损失的选择

过滤器的安装部位	液压系统流量/(L/min)	过滤器容量/(L/min)	允许压力损失/$\times 10^{-3}$MPa
吸油管路	$q_{吸}$	$3q_{吸} \sim 4q_{吸}$	15~35
压力管路	$q_{压}$	$1.5q_{压} \sim 2q_{压}$	350~525
回油管路	$q_{回}$	$2.5q_{回} \sim 3.5q_{回}$	250~350

② 过滤器在液压回路中的安装（见图4-35）：一是将粗过滤器装在吸油口处或吸油管路上以防止油箱内污染物被吸入液压泵中使其磨损，吸油口处应采用较粗的过滤器（网式或线隙式）并将其浸没在油箱底部以阻挡大颗粒的污染物，但它易被堵塞而引起吸空现象；吸油管路上应采用精度稍高些的过滤器，但因其受液压泵吸油特性的限制，其初始压差一般不超过0.0035MPa。二是将过滤精度10~15μm的精过滤器装在压力管路上以控制系统内油液的污染度，此种安装部位对压差的限制不严格，其允许压差可达0.35MPa。三是将滤芯强度较低的精过滤器装在回油管路上（理想的安装位置）以滤除系统内部产生的和外界侵入的污染物，同时为液压泵提供清洁的油液；此种安装部位既不会给主油路造成压力降也不会承受系统的工作压力，但应为其并联一个安装阀以防止滤芯堵塞造成过滤器之前的压力过高。四是将小流量高精度过滤器和单独的液压泵（系统压力一般为0.2~0.35MPa）安装在大型液压系统之外，用于在主系统运转前预先滤除油箱内油液中的杂质。

（2）液压油性能不好引起的故障及处理方法　液压油除具有作为工作介质所要求的性能外，还应具备兼作润滑剂和防锈剂使用的性能。一旦液压油的性能（如黏度、防锈性、抗乳化性、消泡破泡性、低温流动性和润滑性等）不好，将会引起泵噪声或控制阀动作不良等故障（见表4-17）。

（3）液压油泄漏的故障原因及处理方法　见表4-18。

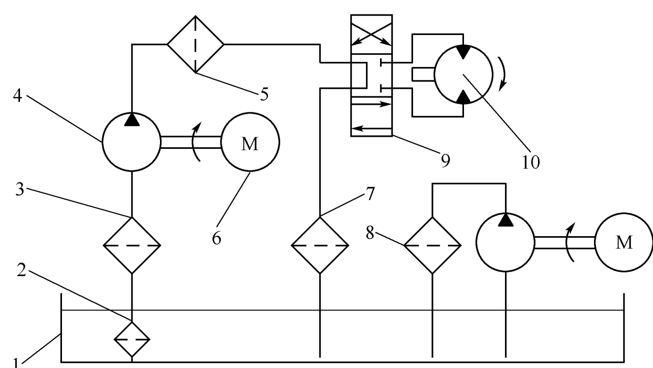


图4-35　过滤器在液压回路中的安装位置

1—油箱　2—吸油口处　3—吸油管路上　4—液压泵　5—压力管路上　6—液压泵电动机
7—回油管路上　8—液压系统之外　9—液压控制阀　10—液压马达或液压缸

表4-17　液压油性能不好引起的故障及处理方法

液压油性能		引起的故障	故障原因	处理方法
黏度	过低时	液压泵产生噪声、流量不足、烧接及异常磨损，内泄漏增大使执行元件的动作失常，压力控制阀的压力不稳定（压力表波动），润滑不良使各滑动面异常磨损	油温上升、黏度下降，油液黏度选用不当，长时间使用高黏度指数的液压油	改进冷却系统
				更换为黏度适合的液压油
	过高时	液压泵吸油不良而烧接，泵的吸入阻力增大产生气穴，过滤器阻力增大而损坏，油管阻力或压力损失增大及输出功率降低，控制阀动作迟滞工作不正常	油温过低、环境温度过低，油液黏度选用不当，低温时油液无加热装置	安装低温加热器和温控装置
				修理油温控制系统使其工作
				更换为黏度适合的液压油
防锈性		因生锈和锈进入滑动部位而产生控制阀或液压缸动作不正常，锈脱落引起烧接或拉伤，锈粒子的流动引起动作不良，流量阀的流量不稳定	防锈性差的油液内混进水分，锈蚀的扩展加剧，开始时已生锈	使用防锈性好的液压油
				防止水分混入液压油中
				进行清洗、除锈处理
抗乳化性		油液内水分引起锈蚀，液压油发生不正常的老化劣化，水分导致液压泵和控制阀产生气穴和气蚀现象	液压油防锈性差，液压油老化劣化，水分分离性差	使用抗乳化性强的液压油
				更换为新的工作油液
老化劣化		产生油泥使液压元件动作不良，氧化加剧而腐蚀金属材料，润滑性能降低而加快元件磨损，防锈性和抗乳化性降低引起故障	高温下长久使用油液而氧化劣化，水分、金属粉末或空气等污物进入油液加快劣化，油液局部高温	避免≥60℃高温下长期使用
				除去污物（清洗、过滤）
				防止加热器的局部加热
腐蚀		腐蚀铜、铝和铁等金属，伴随着气蚀腐蚀金属，液压泵、控制阀、过滤器和油冷却器的局部腐蚀	添加剂的影响，液压油老化劣化，腐蚀性物质混入，水分混入、气穴气蚀现象	检查液压油的性质
				防止老化劣化污物混入
				防止水分、防止气蚀
消泡破泡性		油的压缩性增大致动作不良，泵和缸的噪声、振动增加使磨损加剧，气泡致气穴，油与空气接触面积增大加剧油液氧化，气泡进入润滑处切破油膜致烧伤和爬行	添加剂的消耗，液压油自身的破泡性差	更换油液并投入添加剂
				检查油箱的结构并改进
低温流动性		油的流动闪点在10～15℃以下时流动性变差不能使用	油自身性能和添加剂决定	选择合适的油液
润滑性		泵异常磨损致寿命缩短，液压元件寿命和性能降低，泵、阀等滑动面异常磨损，流量阀调节不良，伺服阀动作不良性能降低，加剧过滤器堵塞和油液老化劣化	液压油老化劣化并混入导物，油液黏度降低，水基液压油性质所决定	换为黏度合适、润滑性好的油
				选油液时重点考虑其润滑性
				正确使用过滤器

表 4-18 液压油泄漏的故障原因及处理方法

泄漏部位	故障原因	处理方法
管接头处泄漏	1）管接头未拧紧	拧紧管接头
	2）锥形管螺纹部分热膨胀	热态下重新拧紧
	3）接头处振松	接头、螺母未裂时重新拧紧并采用带减振器的管夹作支承
	4）组合垫圈损坏	更换新组合垫圈并紧固连接部位
	5）液压冲击	接头未裂时重新拧紧，带蓄能器时对其重新充气，采用缓冲阀等缓冲元件
	6）管接头螺纹（接头或螺母）尺寸过松	检查螺纹尺寸并重新更换管接头或螺母
	7）螺纹或螺孔在安装前磨损、弄脏或损坏	用丝攻或板牙重新修整螺纹或螺孔
	8）锥形管接头拧得太紧使螺纹孔口裂开	更换零件并给予适当的预紧力
静密封处泄漏	1）密封件受挤压或被咬伤	更换密封件，检查密封面是否平整、初始紧固转矩是否太低、压力脉动是否过大以及正常工作压力 > 10MPa 时加挡圈
	2）密封件严重受损	更换密封件，检查密封面是否太粗糙、密封件的材料和硬度是否选择得当
	3）密封件太硬或 O 形圈用过且存在过量的永久变形	更换密封件，检查系统油温是否过高、密封件的材料和硬度是否选择得当
	4）密封接触面有伤痕、毛刺或沟槽、刀痕	修整密封接触面，消除痕迹，修去毛刺等
	5）密封圈在安装时被切伤	密封槽边倒角、去毛刺，安装密封圈时涂抹润滑油或油脂，密封圈通过尖槽或尖锐螺纹时应采用保护垫片或保护套
动密封处泄漏	1）传动轴磨损或损坏	检查轴表面硬度是否过低，更换密封件后在轴上添加淬火轴套，或换新轴
	2）传动轴表面粗糙	抛光轴表面
	3）密封面上有粘胶和油漆	用细砂布打磨干净，装配和喷漆时将轴遮盖好
	4）密封唇割裂或撕裂	更换动密封件，安装时在密封面和轴上涂抹润滑油，密封件通过花键和尖槽时应使用保护套筒
	5）密封唇的弹簧损坏	更换旋转轴唇形密封圈，检查选用的旋转轴唇形密封圈尺寸是否合适，避免密封唇和弹簧的过分拉伸
	6）旋转轴唇形密封圈的安装孔与轴的同轴度过大	重新校准调整安装孔与轴的同轴度，必要时更换有关零件

4.1.4 液压控制元件及故障

液压控制阀（简称液压阀）是液压系统的控制元件，是用来控制和调节系统中液体压力、流量及其液流方向的，进而控制液压执行元件的启动与停止以及改变运动的速度、方向和动作顺序等，以满足数控机床对液压卡盘、液压尾座、液压拨叉换挡、刀具夹紧机构、自动换刀装置和托盘自动交换装置等辅助装置的动作要求（如速度、方向、推力/拉力/转矩）。

目前，液压控制阀的种类很多，按照不同的分类方式有着不同的类型（见表 4-19）。在此将根据液压控制阀在液压系统中所起的作用（即用途），通过应用实例向读者介绍压力控制阀（溢流阀、减压阀、顺序阀、压力继电器）、流量控制阀（节流阀、调速阀）和方向控制阀（单向阀、换向阀）的动作机理与故障排除。其中压力控制阀是利用液压力和弹簧力相平衡的原理来

控制油液的压力大小，流量控制阀是通过改变阀口通流面积的大小来控制流量进而调节执行元件的运动速度，方向控制阀是控制液压系统中油液流动方向的。

表 4-19　液压控制阀的分类

序号	分类方法	种　类	详细分类
1	按用途分	1）压力控制阀	溢流阀、减压阀、顺序阀、卸荷阀、平衡阀、比例压力控制阀、缓冲阀、仪表截止阀、限压切断阀、压力继电器等
		2）流量控制阀	节流阀、单向节流阀、调速阀、分流阀、集流阀、比例流量控制阀等
		3）方向控制阀	单向阀、液控单向阀、换向阀、行程减速阀、充液阀、梭阀、比例方向控制阀等
2	按结构分	1）滑阀	圆柱滑阀、旋转阀、平板滑阀
		2）座阀	锥阀、球阀
		3）射流管阀	
3	按连接方式分	1）管式连接	螺纹式连接、法兰连接
		2）板式连接	单层连接板、双层连接板、
		3）集成式连接	集成块、叠加阀、插装阀
4	按控制方式分	1）开关或定值控制	压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀
		2）比例控制阀	电液比例压力阀、电液比例流量阀、电液比例方向阀、电液比例复合阀、电液比例多路阀
		3）伺服阀	单、双（喷嘴挡板式、动圈式）电液流量伺服阀、三级电液流量伺服阀、电液压力伺服阀、气液伺服阀、机液伺服阀
		4）数字控制阀	数字控制压力阀、流量阀及方向阀
5	按操作方式分	1）人力	手把、手轮、踏板、杠杆
		2）机动	机动换向阀、行程节流阀、行程调速阀
		3）电动	电磁控制阀、动铁式或动圈式电液伺服阀、比例阀、电液力矩放大器
		4）液动	液控单向阀、液控换向阀及各种先导式阀
		5）复合	电液换向阀、电液比例阀、电液伺服阀、机液伺服阀

1. 溢流阀的实例应用与故障排除

（1）简介　溢流阀属于压力控制元件，是根据“并联溢流式压力负反馈”原理（阀与负载并联，溢流口接回油箱，采用进口压力负反馈，不工作时阀口常开）设计而成的液压阀。它既可通过溢去多余的油液（回油箱）来维持液压系统（如定量泵液压系统）压力的基本恒定以起到定压溢流的作用，又可在系统压力超过某一预调值时进行溢流以防止液压系统（如变量泵液压系统）压力持续升高而超载（即安全保护作用）。常用的溢流阀有直动式溢流阀和先导式溢流阀两种。

1）直动式溢流阀（见图 4-36）：压力油自进油腔 P 进入，经阀芯 3 中的孔 a 和阻尼孔 b 流入阀芯左端后盖 1 处的 c 腔内，并使阀芯左端承受大小为 $p \times A$ 的液压力（p 为进油腔 P 的压力，A 为阀芯左端的有效承压面积）。若阀芯左端的液压力 $p \times A$ 小于右端弹簧 4 预压紧力 $F_T = Kx_0$（F_T 亦称弹簧力，K 为弹簧刚度，x_0 为弹簧预压缩量），则阀芯处于最左端，此时进油腔 P 与回油腔 T 不通而呈封闭状态；若进油腔 P 的压力升高使阀芯左端的液压力 pA 增大直至克服右端的弹簧

力 F_T，则阀芯向右移动使溢流阀口开启，部分油液便从进油腔 P 通过回油腔 T 流回油箱内；当 $pA=K(x_0+x)$（x 为阀的开口量）时，阀芯保持在一个与溢流量相对应的开口位置上以使进油腔 P 的压力基本恒定 $p=\frac{K(x_0+x)}{A}\approx\frac{Kx_0}{A}$ = 常数，此时溢流阀处于稳定工作状态。调整调节螺母 8，推动调节杆 6 压缩弹簧 4，即可改变预压紧力 F_T，从而调整溢流阀的开启压力。调节螺母 8 调整完毕后，用锁紧螺母 7 进行锁紧以防止误操作改变阀的开启压力。同时，在直动式溢流阀的阀盖 5 和阀体 2 上加工有上端被钢球 9 或螺塞堵住的工艺孔 d 和 f，使泄漏（通过阀芯和阀体之间的间隙）至阀芯右端弹簧腔内的油液经这些工艺孔回流至回油腔 T（此方式称为内泄），以免积存在弹簧腔内的油液形成附加背压而影响溢流阀开启压力的调整。受阀芯直径和弹簧刚度的影响，直动式溢流阀主要用于低压型（<2.5MPa）小流量液压系统中。

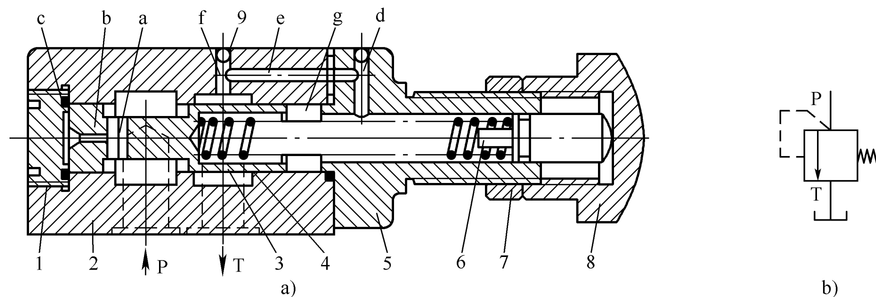


图 4-36 直动式溢流阀结构图及图形符号

a）结构图 b）图形符号

1—后盖 2—阀体 3—阀芯 4—弹簧（调压） 5—阀盖

6—调节杆 7—锁紧螺母 8—调节螺母 9—钢球

2）先导式溢流阀：其主要特点是主阀芯负责控制系统的压力，先导级负责向主阀提供指令力以及作用于主阀芯上的液压力与先导级输出的“指令压力”相平衡。多用于中、高压型大流量液压系统的先导式溢流阀由主阀和先导阀两部分组成，主阀可分为三节同心结构、二节同心结构和一节同心结构，先导阀类似于小流量直动式溢流阀且阀座多为锥阀式或球阀式结构。

① 三节同心结构先导式溢流阀（见图 4-37）：锥式先导阀 1、主阀芯上的阻尼孔（固定节流孔）5 及调压弹簧 9 一起构成先导级半桥分压式压力负反馈控制，负责向主阀芯 6 的上腔提供经过先导阀稳压后的主级指令压力 p_2。主阀芯 6 是主控回路的比较器，其上端面作用有主阀芯的指令力 $F_{指}=A_2p_2$，下端面是主回路的测压面并作用有反馈力 A_1p_1，二者的合力用来驱动阀芯以调节溢流口的大小，从而达到对进口压力 p_1 进行调压和稳压的目的。工作时液压力同时作用于主阀芯和先导阀芯的测压面上。当锥式先导阀 1 未打开时阀腔内油液未流动，作用于主阀芯 6 上下两个方向的压力相等，但因上端面的有效承压面积 A_2 大于下端面的有效承压面积 A_1，主阀芯在合力作用下处于最下端位置使阀口关闭。当进油压力增大到使锥式先导阀 1 打开时，液流通过主阀芯上的阻尼孔 5 和锥式先导阀 1 流回油箱，在阻尼孔的阻尼作用下主阀芯 6 上下方向的液压力不相等，主阀芯便在压差的作用下上移以打开阀口实现溢流，从而维持进口压力的基本稳定 $p_1=\frac{K_sx_{s0}A_2}{A_sA_1}=\frac{F_{指}A_2}{A_sA_1}\approx$ 常数（式中 K_s 和 x_{s0} 分别为主阀弹簧的刚度和预压缩量，A_s 为导阀芯的有效承压面积）。调节先导阀的调压弹簧 9，便可调整阀的溢流压力。如果阀体上的远程控制口 K 通过二位二通阀接油箱时，先导级控制压力 $p_2\approx0$，此时主阀芯在很小的液压力（基本为零）作用下便可向上移动，打开阀口实现溢流（即系统卸荷）。如果远程控制口 K 连接至另一个远离主阀的先导压力阀（此阀的调节压力小于主阀中先导阀的调节压力）入口时，可实现远程调压。

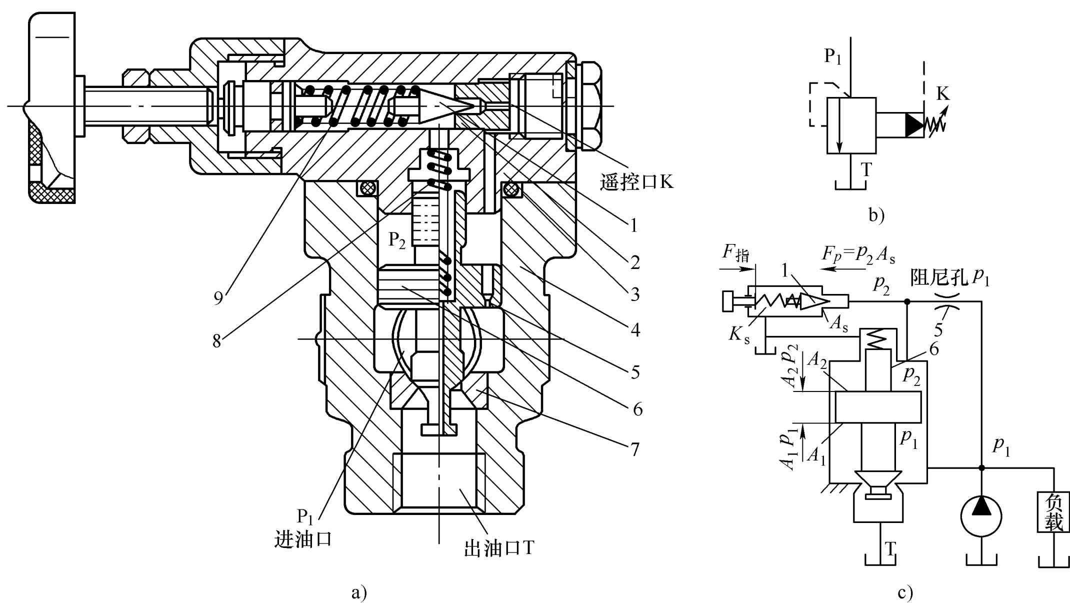


图4-37　YF型三节同心先导式溢流阀的结构图（管式）及原理图

a）结构图　b）图形符号　c）原理图

1—锥阀（先导阀）　2—锥阀座　3—阀盖　4—阀体　5—阻尼孔　6—主阀芯

7—主阀座　8—主阀弹簧　9—调压弹簧（先导阀）

② 二节同心结构先导式溢流阀（见图4-38）：因主阀芯1的圆柱导向面和圆锥面与阀套的配合同心度较高可使主阀关闭时具有良好的密封性，而称其为二节同心。它的工作原理与三节同心先导式溢流阀相同，只是油液需经阀体10和先导阀体6上的3个阻尼孔2、3、4方能从主阀下腔流至主阀上腔。其中串联的阻尼孔2和4是半桥回路中的进油节流口，其作用是使主阀下腔与先导阀前腔产生压力差后通过阻尼孔3（用来提高主阀芯的稳定性）作用于主阀上腔进而控制主阀芯打开。

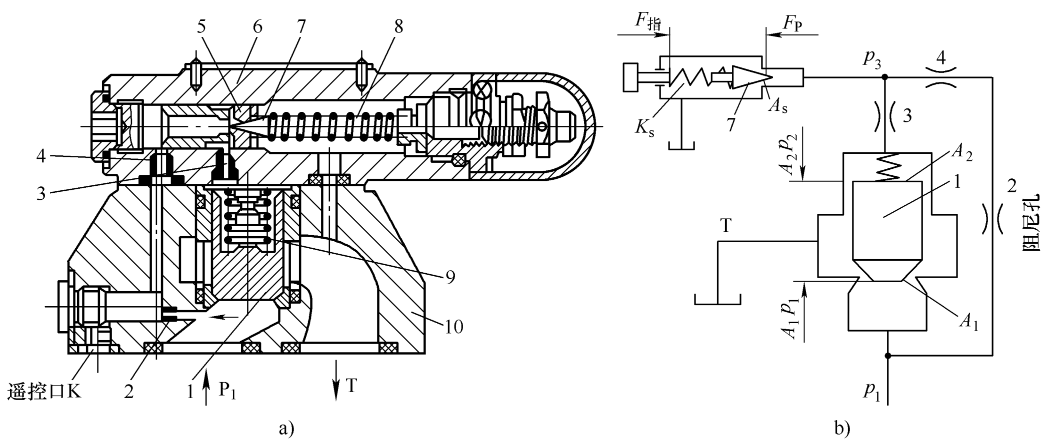


图4-38　二节同心先导式溢流阀的结构图（板式）及原理图

a）结构图　b）原理图

1—主阀芯（带圆柱面的锥阀）　2、3、4—阻尼孔　5—先导阀座　6—先导阀体

7—先导阀芯　8—调压弹簧　9—主阀弹簧　10—阀体

（2）溢流阀在 YKX3132M 型数控滚齿机平衡液压缸上的应用　该机床采用图 4-39 所示的液压平衡支路来平衡刀架滑板（Z 向垂直运动）的重量，该支路由减压阀 7、单向阀 8、溢流阀 9（工作原理与先导式溢流阀相同，即利用主阀芯两端的压力差移动主阀芯以改变阀口的开度）和单杆单作用活塞缸 10 组成。其中减压阀 7 用于设定 p_4 点的压力（须在刀架滑板处于静止状态时设定压力）并通过压力表显示之。为使 Z 轴 1FT6084 -8AC71 -3DH0 同步电动机运行时的负荷最小，应根据平衡液压缸的直径和刀架滑板的重量来计算得出平衡压力，使液压压力与刀架滑板的重量相等。

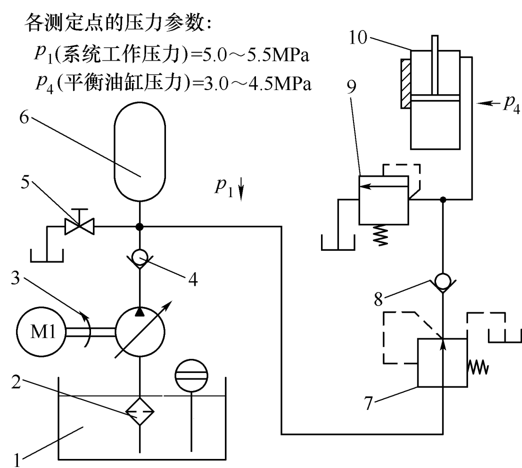


图 4-39　溢流阀在 YKX3132M 型数控滚齿机平衡液压缸上的应用

1—油箱　2—吸油过滤器　3—直接式电动机附变量叶片泵 SMVP -40 -3 -3　4—单向阀（DT8P1 -03 -05 -10 -UB）　5—截止阀　6—蓄能器（NXQ—1.6/100）　7—减压阀（DGMX2 -3 -PP -BH -B -40）　8—单向阀（DGMDC -3 -Y -PM -40）　9—溢流阀（DGMC -3 -PT -BW -B -40）　10—单杆单作用活塞缸（平衡液压缸）

（3）溢流阀常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-20。

表 4-20　溢流阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
先导式溢流阀压力上升得很慢甚至一点儿也不上升（在调压螺钉或手柄自卸荷状态转为升压状态时）	1）主阀芯上有毛刺或阀芯与阀孔的配合间隙内卡有污物使主阀芯卡死在全开位置致压力不上升	研磨法修复主阀芯上的毛刺或拉伤，磨损严重时可刷镀修复或更换新主阀芯；拆洗主阀和先导阀并去除毛刺等重新装配
	2）主阀芯阻尼小孔内有大颗粒污物堵塞使先导流量几乎为 0，压力上升很缓慢；完全堵塞时压力不上升	拆洗主阀和先导阀并用细钢丝（如 ϕ0.8mm）通一通主阀芯上的阻尼小孔，做到目视可见亮光，或用干燥清洁的压缩空气将其吹通
	3）溢流阀内锈蚀使主阀芯卡死在全开位置（进油腔 P 与回油腔 T 连通）致压力不上升	拆洗主阀和先导阀并作除锈处理，锈蚀严重时直接更换新件
	4）主阀弹簧漏装或折断，进油压力使主阀芯右移造成压油腔与回油腔 T 连通致压力不上升	重新安装或更换主阀弹簧
	5）锥式先导阀的阀芯与阀座之间有大粒径污物卡住而不能密合，主阀弹簧腔压力通过锥式先导阀连通回油腔，导致主阀芯上/右移，进而压力不上升	拆洗主阀和先导阀，研磨法修复配合面间的损伤

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
先导式溢流阀压力上升得很慢甚至一点儿也不上升（在调压螺钉或手柄自卸荷状态转为升压状态时）	6）锥式先导阀与阀座小孔密合处严重磨损、有凹坑/纵向划痕，阀座小孔接触处磨成多棱形或锯齿形	夹持针阀的柄部在外圆磨床上修磨锥面，研磨法修磨阀座小孔
	7）锥式先导阀斜置于阀座上不能密合或漏装调压弹簧	重新正确装配溢流阀，不可漏装调压弹簧
	8）遥控口 K 未堵住或回路安装板钻通使 K 口与油箱连通	需要遥控时 K 口不可堵死，不需遥控时可用螺塞将 K 口堵住
压力虽可上升但升不到公称压力（即全紧调压螺钉或手柄后压力上升至某值后不再继续上升）	1）油温过高使内泄漏量增大（尤为显著）	系统内的油液降温处理，增加或恢复油冷却器
	2）先导针阀与阀座之间因液压油中的污物、水分、空气等物质产生磨损而不能很好地结合，压力不上升	拆洗主阀和先导阀，对液压油进行精过滤，研磨法修复磨损
	3）调压螺钉或手轮的螺纹有效深度不够，或螺纹碰伤而不能拧紧至极限位置，故调节杆不能完全压下弹簧至应有位置，压力不能调至最大	重新攻丝至底部，使调压螺钉或手轮可全部拧入
	4）调压弹簧（先导阀）刚度不够使压力不能调至最大	更换刚度足够的调压弹簧（先导阀弹簧）
	5）主阀体孔或主阀芯外圆的毛刺或污物将主阀芯卡死在某一小开度上而呈不完全的微开启状态	拆卸溢流阀，研磨法修复毛刺、剔除污物
	6）液压泵输出流量不够	参照第 4.1.1 节“液压动力元件及故障”中相关内容排除故障
压力不能调节下来（即使全松调压螺钉或手轮）	1）毛刺或污物将主阀芯卡死在关闭位置上	拆卸溢流阀，清除有关部位的毛刺并进行清洗
	2）主阀芯圆度异常有锥度，压力升高后不平衡径向力将主阀芯卡死在关闭位置上出现所谓的液压卡紧	消除液压卡紧后压力可降下来；若再度升压后又出现液压卡紧使压力上升后不能调节下来，则应恢复主阀芯精度或更换新件
	3）调节杆与阀盖孔的配合过紧或阀盖孔有拉伤、调节杆外圆拉毛、调节杆上的 O 形圈因误差累积使压缩余量过大，造成调压弹簧（先导阀）的弹力不能克服这些摩擦力而使调节杆卡在孔内、弹簧被压缩	修磨调节杆的外圆，修复有关拉伤或拉毛，更换合格线径的 O 形圈，再次加工调节杆上的 O 形圈沟槽以合乎要求等
	4）溢流阀的安装板错误使进、回油口接反致主阀芯始终压在阀座上而不能将压力调节下来	更换正确的安装板，确保进油口和回油口的连接正确
	5）对管式或法兰式溢流阀，安装管路时拧得过紧或找正不好使阀体变形，导致主阀芯卡死在关闭位置	更换新的管式或法兰式溢流阀，适当转矩紧固
	6）对板式溢流阀，安装螺钉拧得过紧使阀孔变形将阀芯卡死在关闭位置，压力不能调节下来	更换新的板式溢流阀，适当转矩紧固

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
振动与噪声大，并伴有冲击（在阀类元件中居于首位而仅次于液压泵）	1）油液中混入空气	参照表 4-13“液压缸爬行的故障原因及处理方法”中内容排放空气
	2）阀座前腔（主阀芯弹簧腔）内积存有空气	溢流阀“升压↔降压”重复几次可排除阀座前腔内积存空气
	3）硬度不够的针阀在使用过程中因高频振荡或气蚀而产生磨损，使针阀锥面与阀座不能紧密结合（先导流量）	更换硬度适合的针阀，将其锥面与阀座研磨至紧密结合
	4）经过溢流阀的实际流量远大于该阀的额定流量	实际流量不能超过溢流阀铭牌上规定的额定流量
	5）油箱内油液过低使吸油过滤器或吸油管露于液面外，出现“调节压力⇄回油腔 T”的重复现象，并伴随振动噪声和压力表指针跳动厉害	加油至油标位（规定液面）
	6）溢流阀与其他管路产生共振，尤其是遥控（K）管路的管径和长度不合适会使先导阀产生高频激振荡	遥控配管过细将引起振荡；若配管不能立即改变，则可在遥控口 K 内放入适当直径的固定节流孔（不能放在进油口 P 内）
	7）回油管路连接不合理（错综复杂）使通流面积过小、背压值过高或负载变化过大	合理布置回油管路，多用直通式回油管以避免弯头过多，且回油管径为进油管径的 1.5～2 倍，回油管流速不能过大，回油背压不能过高
	8）吸油过滤器堵塞严重使吸油不畅而导致液压系统发出啸叫声且压力波动大	用干净的清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上的污物

2. 减压阀的实例应用与故障排除

（1）简介　减压阀属于压力调节阀，是根据“串联减压式压力负反馈”原理（阀与负载串联，调压弹簧腔有外接泄油口，采用出口压力负反馈，不工作时阀口常闭）设计而成的液压阀，它主要用于降低并稳定液压系统中某一支路的油液压力（阀的出口压力低于进口压力或二次油路压力低于一次油路压力），确切地说是在工作时控制减压阀出口压力恒定，多用于系统的夹紧油路、润滑油路和其他控制油路中。按其工作原理和结构型式，可分为直动式（较少单独使用）和先导式两大类。其中根据调节要求不同，直动式减压阀有定值减压阀（保持出口压力恒定且不受进口压力的影响，即通常所说的减压阀）、定差减压阀（保持进口压力与出口压力的差值恒定）和定比减压阀（保持进口压力与出口压力的比值恒定）等型式；根据先导级供油的引入方式不同，先导式减压阀分为“先导级由减压出口供油式”和“先导级由减压进口供油式”两种型式。

1）直动式减压阀（见图 4-40）：在定值减压阀中，压力为 p_1 的高压油进入阀内并经由阀芯与阀体间的节流口（开口量 x 且 $x \ll x_0$）减压后，压力降为 p_2 向外输出。因出口压力油经孔道与阀芯下端相连并在阀芯（有效承压面积 A）上作用有向上的液压力，当外来干扰使 p_1 升高时 p_2 随之升高，阀芯上移使其与阀体间的节流口变小进而 p_2 又降低，在调压弹簧的作用下阀芯在新的位置上处于受力平衡，此时出口压力 p_2 基本维持不变，即 $p_2 = \frac{K(x_0 + x)}{A} \approx \frac{Kx_0}{A}$ = 常数（K 和 x_0 分别为弹簧的刚度和预压缩量）。在定差减压阀中，阀芯既受调压弹簧（预压缩量 x_0）和二次压力 p_2（出口压力）的控制，又受一次压力 p_1（进口压力）的控制。当 p_1 升高时，阀芯会

上移使阀口缝隙 B（开口量 x 且 $x << x_0$）加大、节流效果减弱，随之 p_2 升高直至保持已调定的进口压力与出口压力之差值，即 $p = p_1 - p_2 = \dfrac{K(x_0 + x)}{\dfrac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \approx \dfrac{4Kx_0}{\pi(D^2 - d^2)} =$ 常数；当 p_1 降低时可得到同样的结果。对于定比减压阀，在可变节流口的调节下，进口压力 p_1 或出口压力 p_2 虽发生变化但其减压比（进出油口压力的比值）基本维持不变，即 $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{d^2}{D^2} =$ 常数（忽略刚度 K 很小的弹簧力），且通过适当选择柱塞的直径比可得到所需的减压比。

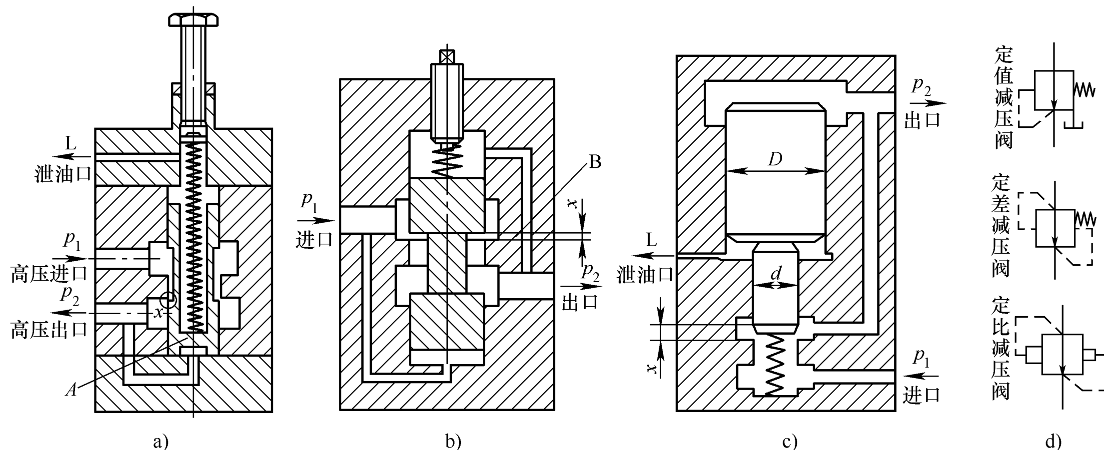


图 4-40　直动式减压阀的原理图及图形符号

a）定值减压阀原理图　b）定差减压阀原理图　c）定比减压阀原理图　d）图形符号

2）先导级由减压出口供油的先导式减压阀（见图 4-41）：此型式的减压阀由先导阀和主阀两部分组成，且压力油是由进油口 P_1 流入、经主阀减压口 f 减压后由出油口 P_2 向外流出。锥式先导阀、主阀芯上的阻尼孔（固定节流孔 e）及先导阀的调压弹簧一起构成先导级半桥分压式压力负反馈控制，负责向滑阀式主阀芯的上腔提供经过先导阀稳压后的主级指令液压力 $p_3 = \dfrac{K_s(x_0 + x)}{A_s} \approx \dfrac{K_s x_0}{A_s}$（式中 K_s、x_0 和 x 分别为先导阀弹簧的刚度、预压缩量和先导阀开口量且 $x << x_0$，A_s 为先导阀的有效承压面积）。主阀芯是主控回路的比较器，其上端面作用有主阀芯的指令力 $F_{指} = Ap_3 + Ky_0$（A 为主阀芯的有效承压面积，K 和 y_0 分别为主阀弹簧的刚度和预压缩量），下端面是主回路的测压面并作用有反馈力 Ap_2，二者的合力用来驱动阀芯以调节减压口 f 的大小，从而达到对出口压力 p_2 进行减压和稳压的目的。工作时，若出口压力 p_2 低于先导阀的调定压力，则先导阀芯关闭且主阀芯上下两腔的压力相等，此时主阀芯在弹簧的作用下处于最下端位置使减压口 f 的开度最大、阀不起减压作用（$p_2 \approx p_1$）。当出口压力 p_2 增大至先导阀的调定压力时，先导阀阀口打开，主阀弹簧腔的油液便经泄油口 L 回流油箱。因油液在主阀芯的阻尼孔 e 内流动而使主阀芯两端产生压力差 [$\Delta F = (Ap_3 + Ky_0) - Ap_2$] 并克服弹簧力抬起一定的位移量 y（$y << y_0$ 且 $\Delta F = Ky$），减压口 f 的开度随之减小并使压降增大，进而出口压力 p_2 下降至调定的压力值，且 $p_2 = p_3 + \dfrac{K(y_0 - y)}{A} \approx \dfrac{K_s x_0}{A_s} + \dfrac{Ky_0}{A}$（忽略液动力和摩擦力）。由此可知，只要在设计时保证主阀弹簧较软，主阀芯的有效承压面积 A 较大，则可忽略 $\dfrac{Ky_0}{A}$，又因液动力和摩擦力相对于液压驱动力可忽略不计，故可使先导式减压阀的出口压力 p_2 基本恒定。即使处于工作状态的减压阀出口处油液不流动，p_2

也可基本保持在调定值上（此时有少量油液通过减压口 f 经先导阀阀口和泄油口 L 回流油箱）。由于出口压力油经阀体与下端盖的通道流至主阀芯下腔、再经主阀芯上的阻尼孔流至其上腔、最后经先导阀阀口和泄油口 L 回流油箱，故先导级的进口（即阻尼孔 e 的进口）压力油引自减压阀的出油口 P_2，由此将该型式的先导式减压阀称为先导级由减压出口供油的减压阀。

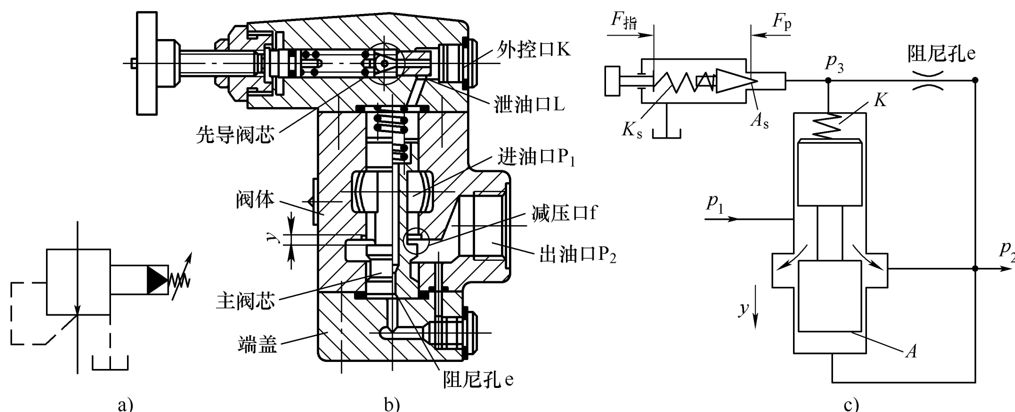


图 4-41　先导级由减压出口供油的先导式减压阀结构图及原理图

a）图形符号　b）结构图　c）原理图

3）先导级由减压进口供油的先导式减压阀：先导级供油既可自减压阀的出油口 P_2 引入，也可从减压阀的进油口 P_1 引入。当先导级供油引自减压阀的出油口 P_2 时，因出口压力是经减压阀稳压后的压力而具有波动不大及有利于提高先导级控制精度的优点，但会导致先导级的输出压力（主阀上腔压力）p_3 始终低于主阀下腔压力 p_2，故在主阀芯上下有效承压面积相等的基础上要使主阀芯平衡就不得不加大主阀弹簧的刚度，如此将造成主级控制精度降低。当先导级供油引自减压阀的进油口 P_1 时（见图 4-42），不仅先导级的供油压力较高而且先导级的输出压力（主阀上腔压力）p_3 也会较高，由此无需加大主阀弹簧的刚度即可使主阀芯平衡（主级控制精度会较高）。但因减压阀的进口压力未经稳压会波动较大而不利于先导级的控制，此时可在先导级的进口处用一个小型“恒流器”来代替原固定节流孔，以使先导级的流量和导阀的开口度近似恒定，从而减小进口压力波动可能带来的不利影响及提高主阀上腔压力 p_3 的稳压精度。

① 图 4-42 中位于先导级进口处的恒流器 6 是由一个固定节流孔Ⅰ和一个可变节流口Ⅱ串联而成的，其中可变节流口Ⅱ可借助于轴向移动的小活塞来改变通油孔的过流面积以改变液阻，小活塞左端的固定节流孔Ⅰ用于使小活塞两端出现压力差，小活塞在此压力差和右端弹簧的共同作用下会处于某一平衡位置。

② 减压阀稳压精度的控制：若引自减压阀进口的压力 p_1 达到调压弹簧 8 的调定压力时，先导阀 7 开启使油液经先导阀口回流至油箱，此时小活塞前的压力为减压阀的进口压力 p_1、其后的压力为调压弹簧 8 设定的先导阀控制压力（主阀上腔压力）p_3，受 $p_3 \ll p_1$ 的影响，主阀芯会在上下腔压力差的作用下克服主阀弹簧 5 的力向上抬起，主阀的开口度随之减小（减压作用）并使主阀出口压力降低为 p_2（主阀阀口采用对称设置许多小孔的结构使液动力为零）。一旦先导阀的流量恒定则先导级的输出压力 p_3 不会波动，如此可有效提高减压阀的稳压精度。

③ 先导阀流量恒定的控制：小活塞处于某一平衡位置且进口压力 p_1 一定时，因恒流器 6 的总液阻一定而使得通过先导阀的流量一定且与流经主阀阀口的流量无关。若 p_1 升高引起通过恒流器的流量增大时，因总液阻来不及变化使小活塞两端的压力差变大并向右移动，进而通油孔的过流面积减小、恒流器的总液阻增大，随之通过的流量减小并力图恢复至原来的值。由此通过恒

流器6的流量得以恒定，且阀的出口压力 p_2 与进口压力 p_1 及流经主阀阀口的流量无关。当阀的出口压力 p_2 出现冲击时，主阀芯上的单向阀4会迅速开启卸压，使阀的出口压力很快降低至调定值且单向阀关闭。

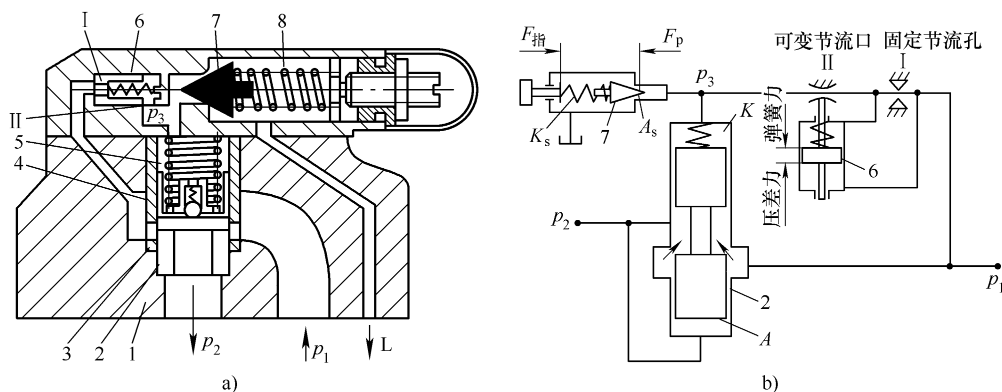


图4-42　先导级由减压进口供油的先导式减压阀结构图及原理图

a）DR20型先导式减压阀结构图　b）原理图

1—阀体　2—主阀芯　3—阀套　4—单向阀（压力缓冲）　5—刚度较小的主阀弹簧
6—控制油流量恒定器（简称恒流器）　7—先导阀　8—调压弹簧　Ⅰ—固定节流孔　Ⅱ—可变节流口

（2）直动式定值减压阀在MK1350×3000型数控外圆磨床上的应用　主要用于轴类零件外圆及小轴肩磨削加工（如铁路货车用 RE_{2B} 型车轴的轮座）的MK1350×3000型数控外圆磨床（详见第1.5.2节），配置了包含贝奇尔油箱、变量叶片泵、电磁换向阀和定值减压阀等液压元件在内的液压系统（见图4-43），以分别完成工件对刀、机床尾座进/退和摇臂进/退的控制，从而分别对应驱动Marposs T18接触式测头进行被磨削轴类工件的轴向定位（*Z*向）测量、尾座顶尖套筒伸出或退回以夹紧或松开工件以及Marposs P7在线径向测量仪按预定轨迹进入或离开测量位置（工件外圆直径）。

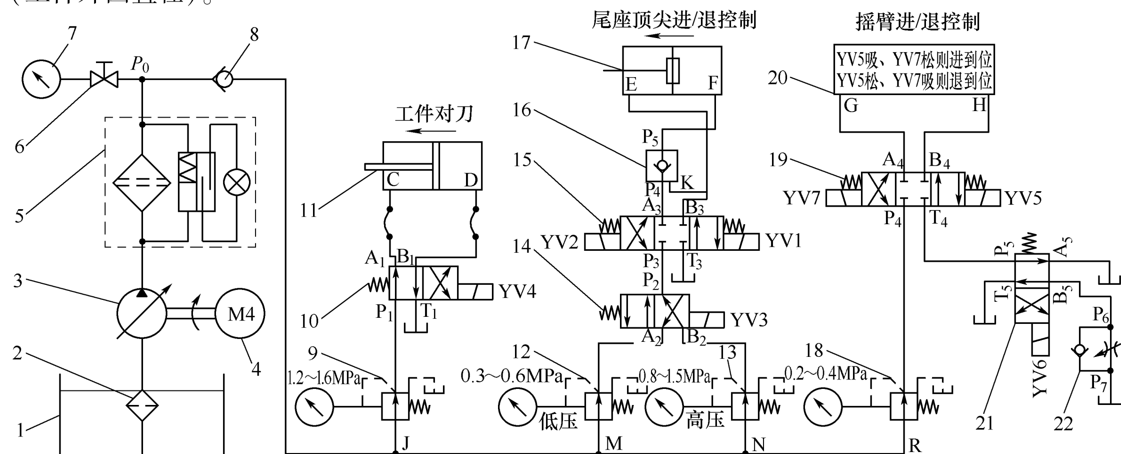


图4-43　MK1350×3000型数控外圆磨床的液压原理图

1—贝奇尔主油箱（330升）　2—网式过滤器（WU-40×100-J）　3—变量叶片泵　4—主油泵电动机M4（2.2kW）
5—主管路精过滤器单元　6—压力表开关　7—充油型压力表（MSG10-40，0~2.5MPa）　8—单向阀
9、12、13、18—定值减压阀（MPR-02P-0-20）　10、21—电磁换向阀（SWH-G02-B2-D24-20）
11—单杆活塞缸　14—电磁换向阀（SWH-G02-B2S-D24-20）　15—电磁换向阀（SWH-G03-C2-D24-20）
16—液控单向阀（MPC-03A-20）　17—双侧不可调缓冲活塞缸　19—电磁换向阀（SWH-G02-C2-D24-20）
20—双作用式摇臂液压缸（自制）　22—单向节流阀（MTC-02-B-1-20）

1）机床主油泵电动机启动/停止的控制（见图 4-44、图 4-45）：在确认所有电气连接正确无误和电控柜内配电板上所有自动开关均在“通”位置上及所有熔断器完整完好的前提下合上电源总开关 QF（150A）→将三相 AC380V 电源引入机床→SINUMERIK 810D 系统启动且控制面板上的所有指示灯点亮 5s→NCK 通过接口 DB10. DBX104. 7 和 DB10. DBX108. 7 向 S7 – 300PLC（CPU315 – 2DP）分别传送 NCK – CPU 就绪信号和 NC 就绪信号→辅助线圈 M0. 0 通电以用于 PLC 的后续逻辑处理→按下控制面板上［主油泵开］绿色带灯按钮 SB02（AR22FOP – 10E3G）时 S7 – 300PLC 的输入信号 I32. 1 接通→依次经过主油泵开辅助线圈 M25. 0 和主油泵运行辅助线圈 M70. 0 的媒介逻辑处理后，Q52. 0 线圈通电保持并向机床侧输出信号→中间继电器 KA01 线圈（DC24V）得电其常开触点闭合→接触器 KM4 线圈（AC110V）得电其主触点闭合→主油泵电动机 M4 接通三相 AC380V 电源而旋转，并带动变量叶片泵一同运转以重复吸油和压油过程→伴随着 M70. 0 的通电保持→［主油泵开］按钮的指示灯辅助线圈 M70. 7 被赋值为 1 状态→Q63. 0 线圈通电保持并向机床侧输出信号→控制面板上［主油泵开］按钮 SB02 的指示灯点亮呈绿色→当按下［主油泵停］红色按钮 SB03（AR22FOY – 11R）或［紧急停止］红色蘑菇头按钮 SB01（A22V2R – 01R）时，S7 – 300PLC 的输入信号 I32. 2 和 I32. 0 将分别对应接通，并使主油泵停辅助线圈 M25. 1 和紧急停止辅助线圈 M2. 1 对应赋值为 1 状态以用于后续逻辑处理→处于通电保持状态的 M70. 0 和 M70. 7 被赋值为 0 状态（失电）→相应的 Q52. 0 和 Q63. 0 被赋值为 0 状态而停止向机床侧输出信号→KA01 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点呈断开状态，且按钮 SB02 的绿色指示灯 HL05 熄灭→AC110V 电源停止向 KM1 线圈供电使其处于闭合状态的主触点断开→主油泵电动机 M4 停止旋转→机床的液压系统停止工作。

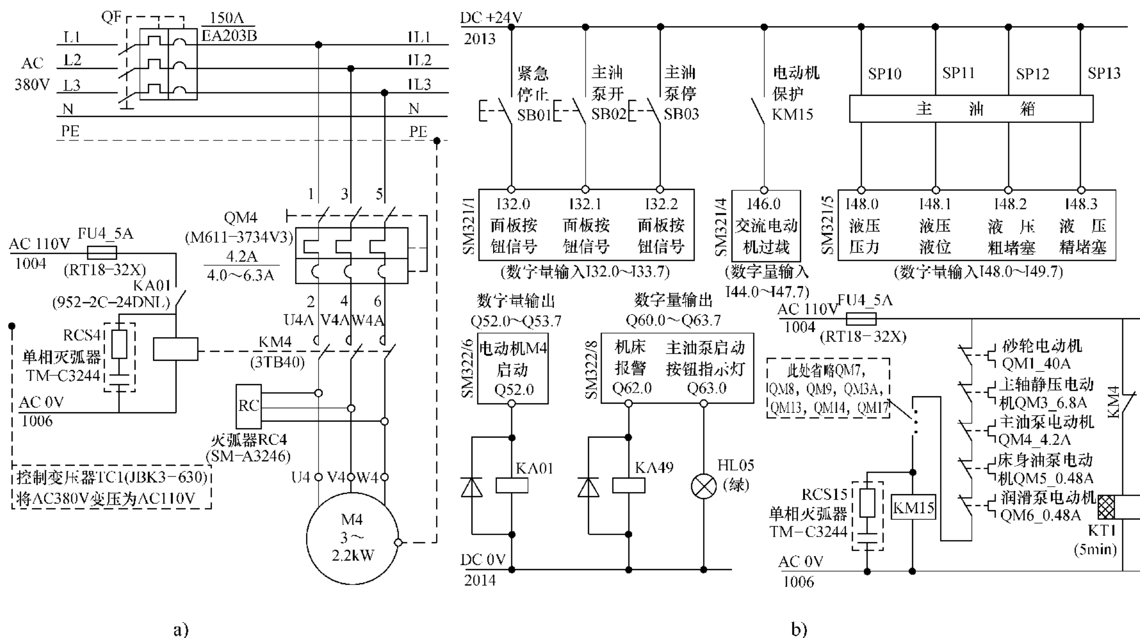


图 4-44 MK1350 × 3000 型数控外圆磨床主油泵电动机启/停控制电路

a）主油泵电动机 M4 的主回路 b）主油泵电动机的辅助控制回路

2）系统主压力的调整及运行状况的监控：该机床液压系统的主压力一般为 1. 5 ~ 2. 0MPa，可通过压力表 MSG10 – 40（0 ~ 2. 5MPa）在图 4-43 所示的 *P*0 点进行测定。当左旋变量叶片泵上的压力调节螺钉时系统的主压力会降低，而右旋则升高。①若贝奇尔主油箱内网式过滤器被锈片、绒毛或橡胶颗粒等污染物堵塞时，S7 – 300PLC 的输入信号 I48. 2 接通并使处于通电状态的线

MK1350×3000 型数控外圆磨床 /FC51"辅助线圈 NCK-PLC"

```
程序段 1： NCK-CPU和NC就绪并传送至PLC后辅助线圈M0.0得电
  A    DB10.DBX   104.7        //串联NCK-CPU就绪信号常开触点
  A    DB10.DBX   108.7        //串联NC就绪信号常开触点
  =    M          0.0          //辅助线圈M0.0得电内部逻辑工作
```

MK1350×3000 型数控外圆磨床 /FC50"输入输出信号处理"

```
程序段 3：
//M0.0=1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
  A    M     0.0         //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    L     1.0         //临时数据存储至局部数据区L1.0

  A    L     1.0         //串联局部数据区L1.0常开触点
  A    "主油泵开"         //串联I32.1的常开触点
  =    M   24.5          //M24.5赋值为1状态用于FC54逻辑处理
程序段 4：与主油箱有关的输入信号送至PLC中
//M0.0=1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
  A    M     0.0         //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    L     1.0         //临时数据存储至局部数据区L1.0
// 按下面板上[主油泵开]按钮， M25.0=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "主油泵开"              //串联I32.1的常开触点
  =    "oil pump on"          //赋值M25.0(主油泵开辅助)为1状态
// 按下面板上[主油泵停]按钮， M25.1=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  AN   "主油泵停"              //串联I32.2常闭触点
  =    "oil pump off"         //赋值M25.1(主油泵停辅助)为1状态
// 主油箱的液位正常时， M25.2=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "液压液位"              //串联I48.1的常开触点
  =    "level of hydralic"    //赋值M25.2(液压液位低辅助)为1状态

  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    "all ready1"           //赋值M25.3(主油泵准备好1辅助)为1状态
// 主油箱粗过滤器未堵塞(I48.2=0)时， M25.4=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  AN   "液压粗堵"              //串联I48.2的常闭触点
  =    "hydralic rough block" //赋值M25.4(液压粗堵塞辅助)为1
// 主油箱精过滤器未堵塞(I48.3=0)时， M25.5=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  AN   "液压精堵"              //串联I48.3的常闭触点
  =    "hydralic fine block"  //赋值M25.5(液压精堵塞辅助)为1
// 主油箱液压压力正常时， M25.6=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "液压压力"              //串联I48.0的常开触点
  =    "pressure of hydralic" //赋值M25.6(液压压力辅助)为1

  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    "all ready2"           //赋值M25.7(主油箱准备好2辅助)为1状态
程序段 9： Q62.0=1 使KA49线圈得电常开触点闭合，机床报警灯EL4点亮
//M0.0=1  时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    L     1.0              //临时数据存储至局部数据区L1.0
//M60.2=1  时PLC向机床侧输出Q62.0=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "machine alarm"        //串联M60.2的常开触点
  =    "机床报警"              //赋值Q62.0=1并向机床侧输出

程序段 10： Q52.0=1使KA01线圈得电常开触点闭合KM1线圈得电主触点闭合
//M0.0=1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    L     1.0              //临时数据存储至局部数据区L1.0
// 主油泵运行辅助M70.0=1时PLC向机床侧输出Q52.0=1
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "oil pump run"         //串联M70.0的常开触点
  =    "油泵开"                //赋值Q52.0=1并向机床侧输出
//M70.7=1时PLC向机床侧输出Q63.0=1 ，[主油泵开]按钮灯HL05点亮
  A    L     1.0              //串联L1.0的常开触点
  A    "ind  of oil pump"     //串联M70.7的常开触点
  =    "油泵开按钮指示灯"       //赋值Q63.0=1并向机床侧输出
```

MK1350×3000 型数控外圆磨床 /FC32"控制辅助处理"

```
程序段 1： 主油泵电动机 M4 的启 / 停控制辅助处理
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  =    L     0.0              //临时数据存储至局部数据区L0.0
// 按下面板上[主油泵开]按钮后主油泵运行辅助M70.0=1并自锁
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  A(                          //逻辑与嵌套开始
  O    "oil pump on"          //并联M25.0常开触点(主油泵开按钮I32.1=1)
  O    "oil pump run"         //并联M70.0常开触点以自锁[主油泵开]按钮
  )                           //逻辑与嵌套结束
  A    "oil pump off"         //串联M25.1常开触点(主油泵停按钮I32.2=1)
  A    "emergency stop"       //串联M2.1常开触点(紧急停止按钮I32.0=1)
  =    "oil pump run"         //赋值M70.0(主油泵运行辅助)为1状态
//M70.0=1时[主油泵开]按钮指示灯辅助线圈M70.7=1
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  A(                          //逻辑与嵌套开始
  O    "oil pump run"         //并联M70.0的常开触点
  ON   T     22               //并联T22的常闭触点
  )                           //逻辑与嵌套结束
  =    "ind  of oil pump"     //赋值M70.7(按钮灯HL05辅助)为1状态
程序段 7：
//M0.6=1(T22 延迟 8s) 时利用FC32的局部数据区L0.0存储该块的临时数据
  A    M     0.6              //串联M0.6的常开触点
  =    L     0.0              //临时数据存储至局部数据区L0.0
//M25.2=0(I48.1=0)时PLC向MMC传送"700061: 主油箱液位低报警"
  A    L   0.0                //串联L0.0的常开触点
  AN   "level of hydralic"    //串联M25.2的常闭触点
  AN   DB20.DBX    87.5       //串联DB20.DBX87.5的常闭触点
  =    DB2.DBX    187.5       //PLC向MMC传送AL700061报警信号
//M25.4=0(I48.2=1)时PLC向MMC传送"700062: 主油箱粗过滤器堵塞报警"
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  AN   "hydralic rough block" //串联M25.4的常闭触点
  AN   DB20.DBX    87.6       //串联DB20.DBX87.6的常闭触点
  =    DB2.DBX    187.6       //PLC向MMC传送AL700062报警信号
//M25.5=0(I48.3=1)时PLC向MMC传送"700063: 主油箱精过滤器堵塞报警"
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  AN   "hydralic fine block"  //串联M25.5的常闭触点
  AN   DB20.DBX    87.7       //串联DB20.DBX87.7的常闭触点
  =    DB2.DBX    187.7       //PLC向MMC传送AL700063报警信号
//M25.6=0(I48.0=0)时PLC向MMC传送"700018: 主油箱压力低报警"
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  A    T     44               //串联T44(20s)的常开触点
  AN   "pressure of hydralic" //串联M25.6的常闭触点
  AN   DB20.DBX    82.2       //串联DB20.DBX82.2的常闭触点
  =    DB2.DBX    182.2       //PLC向MMC传送AL700018报警信号
```

MK1350×3000 型数控外圆磨床 /FC30"机床报警信号处理"

```
程序段 1： 接通延时定时器 T22(8s)
  A    M     0.0              //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
  L    S5T#8S                 //预置值8s送入ACCU1
  SD   T     22               //延时定时器T22(8s)的线圈"通电"
  NOP  0                      //空操作指令
程序段 3： 接通延时定时器 T22(8s)
//M0.6=1(T22 延迟 8s) 时利用FC30的局部数据区L0.0存储该块的临时数据
  A    M     0.6              //串联M0.6的常开触点
  =    L     0.0              //临时数据存储至局部数据区L0.0
//M60.3=1时机床报警辅助线圈M60.2得电以使Q62.0=1
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  A(                          //逻辑与嵌套开始
  O    M     60.3             //并联M60.3的常开触点
  ON   T     22               //并联延时定时器T22(8s)的常闭触点
  )                           //逻辑与嵌套结束
  =    "machine alarm"        //赋值M60.2(机床报警辅助)为1状态
  A    L     0.0              //串联L0.0的常开触点
  A(                          //逻辑与嵌套0开始
  O(                          //逻辑或嵌套1开始
  L    DB2.DBW   182          //数据字DBW182装载至ACCU1,AL700016-23
  L    0                      //预置值0送入ACCU1， DBW182的值送ACCU2
  <>I                         //据选择类型"ACCU1不等于ACCU2"进行比较
  )                           //逻辑或嵌套1结束
  ………… 中间省略了对DB2.DBX180和DB2.DBX181以及
  ………… DB2.DBX183～DB2.DBX187的比较处理
  )                           //逻辑与嵌套0结束
  =    M     60.3             //赋值M60.3(M60.2的辅助)为1状态
```

图4-45　MK1350×3000型数控外圆磨床主油泵电动机启/停控制PLC程序（S7－300）

圈 M25.4 =0，从而 PLC 通过接口信号 DB2.DBX187.6 向 MMC 传送“700062：主油箱粗过滤器堵塞报警”。同时依次通过 M60.3 和 M60.2 的媒介逻辑使线圈 Q62.0 赋值为 1 状态并向机床侧输出信号，随之中间继电器 KA49 线圈（DC24V）得电其常开触点闭合，进而机床报警灯 EL4（TX012）点亮。②若液压系统主管路上的精过滤器单元被污染物堵塞时，S7－300PLC 的输入信号 I48.3 接通并使处于通电状态的线圈 M25.5 =0，从而 PLC 通过接口信号 DB2.DBX187.7 向 MMC 传送“700063：主油箱精过滤器堵塞报警”且机床报警灯 EL4 点亮。③若液压系统的主压力不正常（低于设定压力）时，S7－300PLC 的输入信号 I48.0 由 1 状态变为 0 状态并使处于通电状态的线圈 M25.6 =0，从而 PLC 通过接口信号 DB2.DBX182.2 向 MMC 传送“700018：主油箱压力低报警”且机床报警灯 EL4 点亮。④若主油箱内的液位低于规定液面时，S7－300PLC 的输入信号 I48.1 由 1 状态变为 0 状态并使处于通电状态的线圈 M25.2 =0，从而 PLC 通过接口信号 DB2.DBX187.5 向 MMC 传送“700061：主油箱液位低报警”且机床报警灯 EL4 点亮。

3）机床尾座顶尖套筒伸出或退回的电气控制：在 S7－300PLC 内部线圈 M0.0（PLC 经接口 DB10.DBX104.7 和 DB10.DBX108.7 分别接收到 810D_ NCK 传送的 NCK－CPU 就绪信号和 NC 就绪信号后 M0.0 =1）和 M100.0（按下控制面板上［主油泵开］按钮 SB02 后主油泵运行辅助线圈 M70.0 =1 并自锁而使 M100.0 =1）通电的状态下，操作者既可在 JOG 模式下分别通过机床控制面板上的［尾座顶尖伸出］按钮和［尾座顶尖退回］按钮来手动控制尾座顶尖套筒的伸出与退回，也可在 AUTO 或 MDA 模式下分别通过执行数控程序中的辅助功能代码 M49 和 M48 来自动控制尾座顶尖套筒的伸出与退回，从而实现被磨削工件的夹紧和松开控制。MK1350 ×3000 型数控外圆磨床尾座顶尖套筒伸出/退回的控制电路和 S7－300PLC 控制程序，分别如图 4-46 和图 4-47 所示。

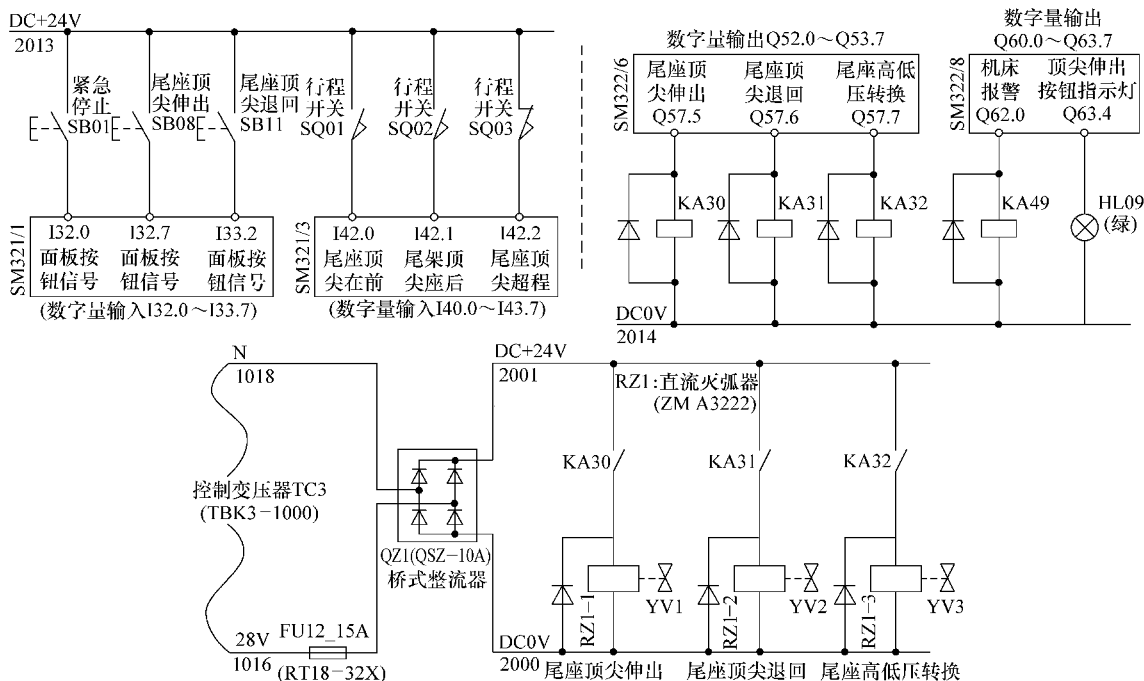


图 4-46 MK1350 ×3000 型数控外圆磨床尾座顶尖套筒伸出/退回的控制电路

① 利用控制面板上的按钮手动控制顶尖套筒伸出：按下 MCP 上［JOG］按键（输入信号 I0.3 =1，按键指示灯输出信号 Q0.3 =1）使机床处于 JOG 运行模式→按下控制面板上［尾座顶尖伸出］绿色带灯按钮 SB08（AR22FOP－10E3G）接通 PLC 的输入信号 I32.7→经过辅助线圈

```
MK1350×3000型数控外圆磨床/FC51“辅助线圈NCK-PLC”
程序段 1： NCK-CPU和NC就绪并传送至PLC后辅助线圈M0.0得电
    A     DB10.DBX   104.7      //串联NCK-CPU就绪信号常开触点
    A     DB10.DBX   108.7      //串联NC就绪信号常开触点
    =     M          0.0        //辅助线圈M0.0得电内部逻辑工作

MK1350×3000型数控外圆磨床/FC50“输入输出信号处理”
程序段 1： MCP上按键信号处理及模式切换
//M0.0-1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
    A     M          0.0        //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
    -     L          1.0        //临时数据存储至局部数据区L1.0
// 按下MCP上[AUTO]按键后， M1.7=1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “自动”                         //串联I0.0的常开触点
    -     “auto”                 //赋值M1.7(AUTO模式辅助)为1状态
// 按下MCP上[RESET]按键后， M2.0=1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “复位”                         //串联I3.7 的常开触点
    =     “reset”                //赋值M2.0(复位键辅助)为1状态
// 按下面板上[紧急停止]按钮时， M2.1-1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “急停”                         //串联I32.0的常开触点
    =     “emergency stop”       //赋值M2.1(EMG辅助)为1状态
程序段 5： 与机床尾座有关的输入信号送至PLC中
// 按下面板上[尾座顶尖伸出]按钮后， M33.0=1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “尾座进”                        //串联I32.7常开触点
    -     “tail forward”         //赋值M33.0(顶尖伸出辅助)为1状态
// 按下面板上[尾座顶尖退回]按钮后， M79.1=1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “尾座退”                        //串联I33.2的常开触点
    -     “tail back”            //赋值M79.1(顶尖退回辅助)为1状态

// 顶尖伸出到位后行程开关SQ01被压下， M33.2=1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “尾座在前”                      //串联I42.0常开触点
    =     “tail is forward”      //赋值M33.2(伸出到位辅助)为1状态
// 顶尖回退到位后行程开关SQ02被压下， M33.3-1
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “尾座在后”                      //串联I42.1常开触点
    =     “tail is back”         //赋值M33.3(回退到位辅助)为1状态
// 顶尖伸出超程后行程开关SQ03被压下(I42.2=0)，M33.4=0
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “尾座超程”                      //串联I42.2常开触点
    -     “tail is overtravel”   //赋值M33.4(顶尖超程辅助)为1状态
程序段 9： Q62.0=1使KA49线圈得电常开触点闭合，机床报警灯EL4点亮
//M0.0-1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
    A     M          0.0        //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
    -     L          1.0        //临时数据存储至局部数据区L1.0
//M60.2-1 时PLC向机床侧输出Q62.0-1
    A     L          1.0        //串联L1.0的常开触点
    A     “machine alarm”       //串联M60.2的常开触点
    =     “机床报警”             //赋值Q62.0=1并向机床侧输出

程序段 12： 与机床尾座有关的输出信号自PLC送至机床侧
//M0.0=1时利用FC50的局部数据区L1.0存储该块的临时数据
    A     M          0.0        //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
    -     L          1.0        //临时数据存储至局部数据区L1.0
// 顶尖伸出辅助M79.0-1时PLC向机床侧输出Q57.5-1， KA30线圈得电
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “tail forward valve”   //串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    =     “尾座进阀”                  //赋值Q57.5=1并向机床侧输出
// 顶尖伸出按钮辅助M79.7=1时PLC向机床侧输出Q63.4=1，HL09点亮
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “ind . of tail forward”  //串联M79.7(顶尖伸出辅助)常开触点
    -     “尾座进按钮指示灯”           //赋值Q63.4-1并向机床侧输出
// 顶尖退回辅助M80.0-1时PLC向机床侧输出Q57.6-1， KA31线圈得电
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “tail back valve”      //串联M80.0(顶尖退回辅助)常开触点
    -     “尾座退阀”                  //赋值Q57.6-1并向机床侧输出
// 尾座高低压转换辅助M80.1-1时PLC向机床侧输出Q57.7-1， KA32得电
    A     L          1.0                //串联L1.0的常开触点
    A     “tail high/low pressure”  //串M80.1(尾座高低压转换)常开触点
    =     “尾座高低压”                //赋值Q57.7=1并向机床侧输出
```

```
MK1350×3000型数控外圆磨床/FC35“尾座顶尖辅助处理”
程序段 1： 按钮手动或M代码控制尾座顶尖伸出/退回的辅助
//M0.0-1时利用FC35的局部数据区L0.1存储该块的临时数据
    A     M          0.0        //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
    -     L          0.0        //临时数据存储至局部数据区L0.0
    A     L          0.0        //串联L0.0的常开触点
    A     M          0.0        //串联M0.0常开触点(NCK-CPU和NC就绪)
    =     L          0.1        //临时数据存储至局部数据区L0.1
// 通过面板上[尾座顶尖伸出]按钮或M49代码控制顶尖伸出到位而压下
//SQ01， 再由[尾座顶尖退回]按钮或M48代码使M79.0断电
    A     L          0.1                //串联L0.1的常开触点
    A(                                  //逻辑与嵌套0开始
    A(                                  //逻辑与嵌套1开始
    A     M          1.0     //串联M1.0的常开触点(PLC经接口DB11.DBX6.2
                             //接收NCK传送的JOG模式信号后M1.0-1)
    A     M          100.0   //串联M100.0的常开触点([主油泵开]按钮后主
                             //油泵运行辅助M70.0=1并自锁使得M100.0=1)
    A     “tail forward”       //串联M33.0常开触点([尾座顶尖伸出]按钮)
    O     DB21.DBX   200.1   //并联顶尖伸出M49代码(NCK传送至PLC)常开触点
    O     “tail forward valve”          //并联M79.0的常开触点以自锁
    )                                   //逻辑与嵌套1结束
    A(                                  //逻辑与嵌套2开始
    ON    “tail back”              //并联M79.1常闭触点([尾座顶尖退回]
                                   //按钮后M79.1=1，M79.0将断电)
    O     M          1.1       //并联M1.1常开触点(PLC经DB11.DBX6.1和
          //DB11.DBX6.0分别接收NCK传送的MDA、AUTO模式信号M1.1=1)
    )                                   //逻辑与嵌套2结束
    AN    DB21.DBX   200.0   //串联顶尖退回 M48代码(NCK传送至PLC)常闭触点
    O                                   //并联
    A     “tail forward valve”          //串联M79.0的常开触点
    AN    M          79.4               //串联M79.4的常闭触点
    )                                   //逻辑与嵌套0结束
    -     “tail forward valve”     //赋值M79.0(顶尖伸出辅助)为1状态
// 只要M79.0≠1就会有M80.0=1，进而Q57.6=1使KA31得电
    A     L          0.1                //串联L0.1的常开触点
    AN    “tail forward valve”     //串联M79.0(顶尖伸出辅助)常闭触点
    =     “tail back valve”        //赋值M80.0(顶尖退回辅助)为1状态
// 延时8s后(T22=0)顶尖伸出压下SQ01， M79.0置位为1并保持，持续顶紧工件
    A     L          0.0                //串联L0.0的常开触点
    AN    T          22         //串联延时定时器T22(8s)常闭触点
    A     “tail is forward”     //串联M33.2(顶尖伸出到位SQ01)常开触点
    S     “tail forward valve”          //M79.0被置位为1并保持

程序段 2： 顶尖伸出压下SQ01后延时3s由低压转为高压 M80.1-1使Q57.7-1
    A     M          100.0   //串联M100.0的常开触点(按[主油泵开]按钮后
                             //主油泵运行辅助M70.0=1并自锁使得M100.0=1)
    =     L          0.0
    A     L          0.0                //串联L0.0的常开触点
    A     M          79.5               //串联M79.5常开触点(尾座顶尖伸
                                        //出并压下SQ01后M79.5-1)
    A     “tail forward valve”     //串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    L     S5T#3S                        //预置值3s送入ACCU1
    SD    T          11                 //延时定时器T11(3s)线圈通电
    NOP   0                             //空操作指令
    NOP   0
    NOP   0
    NOP   0
    A     L          0.0                //串联L0.0的常开触点
    A     “tail forward valve”     //串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    A     T          11         //串联延时定时器T11(3s)常开触点
    -     “tail high/low pressure”     //赋值M80.1-1(尾座高低压转换)
程序段 3： 尾座回退条件 ：头架准停、摇臂在上位、T18量仪退至后位等
    A     M          100.0   //串联M100.0的常开触点(按[主油泵开]按钮后
                             //主油泵运行辅助M70.0-1并自锁使得M100.0-1)
    =     L          0.0
    A     L          0.0            //串联L0.0的常开触点
    A(                              //逻辑与嵌套开始
    A     M          100.5   //串联M100.5的常开触点(砂轮架退至后退位即
                             //正的软限位或定时器T22断电后,M100.5-1)
    AN    M          77.0           //串联M77.0(头架准停辅助)常闭触点
    A     M          81.6           //串联M81.6(摇臂在上位辅助)常开触点
    A     M          86.6           //串联M86.6(T18退至后位辅助)常开触点
    O     DB20.DBX   75.1           //并联DB20.DBX75.1的常开触点
    )                               //逻辑与嵌套结束
    =     M          79.4           //赋值M79.4(尾座回退条件辅助)为1
```

图 4-47　MK1350×3000 型数控外圆磨床尾座顶尖套筒伸出/退回的 S7-300PLC 控制程序

MK1350×3000型数控外圆磨床/FC35"尾座顶尖辅助处理"

```
程序段 4：顶尖伸出压下 SQ01，退回压下 SQ02 或伸出超程压下 SQ03的辅助
    A     M     100.0    // 串联M100.0常开触点(按[主油泵开]按钮后
                         // 主油泵运行辅助 M70.0=1 并自锁使M100.0=1)
    =     L     1.0
// 尾座顶尖伸出(M79.0=1)并压下SQ01(M33.2=1)后,M79.5=1
    A     L     1.0                          // 串联L0.0的常开触点
    A     "tail forward valve"               //串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    A     "tail is forward"                  //串联M33.2(伸出到位SQ01)常开触点
    =     M     79.5                         //赋值M79.5(伸出压下SQ01)为1状态
// 尾座顶尖退回并压下SQ02后或顶尖伸出超程而压下SQ03时，M79.6=1
    A     L     1.0                          // 串联L0.0的常开触点
    A(                                       //逻辑与嵌套开始
    AN    "tail forward valve"               // 串联 M79.0(顶尖伸出辅助)常闭触点
    A     "tail is back"                     // 串联 M33.3(回退到位辅助)常开触点
    O                                        // 并联
    A     "tail forward valve"               // 串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    AN    "tail is overtravel"               // 串联M33.4(伸出超程辅助)常闭触点
    )                                        //逻辑与嵌套结束
    =     M     79.6                         // 赋值M79.6为1状态

程序段 5：顶尖伸出未压下 SQ01,退回未压下SQ02或伸出超程压下SQ03辅助
    A     M     100.0
    A(                                       //逻辑与嵌套0开始
// 尾座顶尖伸出未压下SQ01(M33.2=0)或回退未压下
//SQ02(M33.3=0)、伸出超程压下SQ03(M33.4=0)
    A(                                       // 逻辑与嵌套1开始
    A     "tail forward valve"               // 串联M79.0(顶尖伸出辅助)常闭触点
    AN    "tail is forward"                  // 串联M33.2(顶尖伸出到位)常闭触点
    O                                        // 并联
    AN    "tail back valve"                  // 串联 M80.0(M79.0=1时M80.0=0)常闭触点
    AN    "tail is back"                     // 串联 M33.3(回退到位辅助)常闭触点
    ON    "tail is overtravel"               // 并联 M33.4(顶尖伸出超程)常闭触点
    )                                        // 逻辑与嵌套1结束
    A     M     0.2                          // 串联 M0.2(T32_0.5s)常开触点
// 尾座顶尖伸出到位压下SQ01(M33.2=1)
    O                                        // 并联
    A     "tail forward valve"               // 串联M79.0(顶尖伸出辅助)常开触点
    A     "tail is forward"                  // 串联M33.2(顶尖伸出到位)常开触点
    )                                        // 逻辑与嵌套0结束
    ON    T     22                           // 并联 T22(8s)的常闭触点
    =     "ind . of tail forward"            // 赋值 M79.7为1状态

程序段 6：尾座回退条件未满足时 PLC向MMC传送相关报警
    A     M     0.6            // 串联 M0.6 常开触点(T22 延时 8s 后M0.6=0)
//JOG模式时按[尾座顶尖伸出]或[尾架顶尖退回]按钮及顶尖伸出 M49 代码
    A(                                       // 逻辑与嵌套 0 开始
    A     M     1.0            // 串联 M1.0 常开触点(PLC经接口 DB11.DBX6.2
                               // 接收 NCK传送的 JOG 模式信号后 M1.0=1)
    A(                                       // 逻辑与嵌套1开始
    A     "tail forward"       // 串联 M33.0 常开触点(按[尾座顶尖伸出]按钮)
    A     M     0.1            // 串联 M0.1 常开触点(按[RESET]按键后 M0.1=1)
    O     "tail back"          // 并联 M79.1 常开触点(按下面板上的[尾座顶
                               // 尖退回]按钮后 M79.1=1，M79.0 将断电)
    )                                        // 逻辑与嵌套1结束
    O     DB21.DBX   200.1     // 并联顶尖伸出 M49 代码(NCK传送至PLC)常开触点
    )                                        // 逻辑与嵌套 0 结束
    AN    M     79.4                         // 串联 M79.4 的常闭触点
    =     L     1.0            //*M79.4的临时数据存储至局部数据区 L1.0
//M77.9=1 头架未停止时 PLC 向 MMC 传送"700046: 尾架退 —头架未停止"
    A     L     1.0                          // 串联L1.0的常开触点
    A     M     77.0                         // 串联 M77.0(头架准停辅助)常开触点
    AN    DB20.DBX   85.6                    // 串联 DB20.DBX85.6的常闭触点
    =     DB2.DBX    185.6                   //PLC向MMC 传送 AL700046 报警信号
//M100.5=0 砂轮架未回退至 X 轴的正软限位时 PLC
// 向MMC 传送"700045: 尾架退 —砂轮架不在后退位"
    A     L     1.0                          // 串联 L1.0的常开触点
    AN    M     100.5          // 串联 M100.5的常闭触点(砂轮架退至后退位即
                               // 正的软限位或定时器 T22断电后 ,M100.5=1)
    AN    DB20.DBX   85.5                    // 串联 DB20.DBX85.5的常闭触点
    =     DB2.DBX    185.5                   //PLC 向MMC 传送 AL700045 报警信号
//M81.6=0 摇臂不在上位或 M86.6=0 量仪 T18不在后退位时
//PLC 向 MMC 传送"700044: 尾架退 —测量仪 P7或T18未就绪"
    A     L     1.0                          // 串联 L1.0的常开触点
    A(                                       // 逻辑与嵌套开始
    ON    M     81.6                         // 并联M81.6(摇臂在上位辅助)常闭触点
    ON    M     86.6                         // 并联M86.6(T18退至后位辅助)常闭触点
    )                                        // 逻辑与嵌套结束
    AN    DB20.DBX   85.4                    // 串联DB20.DBX85.4 的常闭触点
    =     DB2.DBX    185.4                   //PLC 向MMC 传送 AL700044 报警信号
```

MK1350×3000型数控外圆磨床/FC30"机床报警信号处理"参见图4-45中FC30的程序段1和程序段3。

图 4-47 MK1350×3000 型数控外圆磨床尾座顶尖套筒伸出/退回的 S7-300PLC 控制程序（续）

M33.0 和 M79.0 的媒介逻辑处理后 Q57.5 线圈通电保持并向机床侧输出信号→中间继电器 KA30 线圈（DC24V）得电其常开触点闭合→三位四通型电磁换向阀 SWH-G03-C2-D24-20 的线圈 YV1 得电（DC24V）→来自主油泵的液压油自进油口 F 进入尾座顶尖套筒液压缸（双侧不可调缓冲活塞缸，下称尾座液压缸）的右腔使缸内活塞向左移动→活塞推动顶尖套筒伸出并在 0.3～0.6MPa 的压力下由顶尖顶紧工件→延时 8s 后行程开关 SQ01（AL-P21）被压下（输入信号 I42.0=1）并将 M79.0 置位为 1 状态其线圈通电保持→在线圈 M79.5 通电（M33.2=1 且 M79.0=1）3s 后高低压转换的辅助线圈 M80.1 通电保持（保持状态由 M79.0 间接控制）使 Q57.7 线圈通电保持并向机床侧输出信号→中间继电器 KA32 线圈得电其常开触点闭合→电磁换向阀 SWH-G02-B2S-D24-20 的线圈 YV3 得电使右侧减压阀控制的油路接通→尾座液压缸在 0.8～1.6MPa 的压力下持续顶紧工件以实现工件外圆的磨削任务→伴随着顶尖套筒伸出（M79.0=1）及 SQ01 被压下（M33.2=1），辅助线圈 M79.7 通电保持（保持状态由 M79.0 间接控制）使 Q63.4 线圈通电保持并向控制面板侧输出信号→控制面板上的［尾座顶尖伸出］按钮 SB08 的指示灯点亮呈绿色。

② 利用控制面板上的按钮手动控制顶尖套筒退回：在"机床头架准停、装有 Marposs P7 径向测量仪的摇臂退至上位、装有 T18 端面测量仪的对刀架退至后退位及砂轮架退至后退位（X 轴

的正软限位)”的前提下→即尾座回退条件的辅助线圈 M79.4 得电→JOG 运行模式时按下控制面板上［尾座顶尖退回］红色按钮 SB11（AR22FOY－11R）接通 PLC 的输入信号 I33.2→辅助线圈 M79.1 得电其常闭触点呈断开状态→顶尖伸出辅助线圈 M79.0、高低压转换的辅助线圈 M80.1 和按钮指示灯 HL09 的辅助线圈 M79.7 断电→与之对应的输出线圈 Q57.5、Q57.7 和 Q63.4 均断电并停止向机床侧输出信号而使得 KA30 和 KA32 断电及按钮指示灯 HL09 熄灭→由此电磁阀线圈 YV1 和 YV3 失电→伴随 M79.1 线圈的通电→用于尾座顶尖退回的辅助线圈 M80.0 得电使线圈 Q57.6 通电并向机床侧输出信号→中间继电器 KA31 线圈得电其常开触点闭合→三位四通型电磁换向阀 SWH－G03－C2－D24－20 的线圈 YV2 得电（DC24V）→来自主油泵的液压油自出油口 E 进入尾座液压缸的左腔使缸内活塞向右移动→在 0.3～0.6MPa 的压力下由活塞推动顶尖套筒回退使顶尖松开工件→直至行程开关 SQ02 被压下使 PLC 的输入信号 I42.1 接通。

③ 通过程序指令 M49 和 M48 分别自动控制顶尖套筒伸出和退回：按下 MCP 上［AUTO］或［MDA］按键（输入信号分别为 I0.0 和 I0.1，按键指示灯的输出信号分别为 Q0.0 和 Q0.1）使机床处于 AUTO 或 MDA 运行模式→PLC 通过接口 DB11.DBX6.1 和 DB11.DBX6.0 分别接收 810D_NCK 传送的 MDA 和 AUTO 运行模式信号而使得辅助线圈 M1.1 得电其常开触点闭合→按下 MCP 上的［循环启动］按钮使 SINUMERIK 810D 系统执行加工程序→当读至指令代码 M49 时 NCK 通过接口 DB21.DBX200.1 向 PLC 传送尾座顶尖伸出代码激活信号→经线圈 M79.0（通电保持）的媒介逻辑处理后 Q57.5 线圈通电保持→后续 YV1 和 YV3 的动作与手动按钮 SB08 控制顶尖伸出的相同→当程序执行至指令代码 M48 时 NCK 通过接口 DB21.DBX200.0 向 PLC 传送尾座顶尖退回代码激活信号→顶尖伸出辅助线圈 M79.0 失电其常闭触点呈接通状态使线圈 M80.0 得电和 M80.1 断电→与之对应的电磁阀线圈 YV1 失电、YV2 得电及 YV3 失电→液压油自出油口 E 进入尾座液压缸的左腔使缸内活塞在 0.3～0.6MPa 的压力下向右移动以松开工件→直至行程开关 SQ02 被压下使 PLC 的输入信号 I42.1 接通。

4）机床尾座顶尖套筒伸出或退回的液压控制（见图 4-43）

① 尾座顶尖套筒伸出：电磁阀线圈 YV1 得电时其推杆将阀芯推向左端而使 P_3 与 A_3 接通、B_3 与 T_3 接通→用于尾座顶尖高低压转换的电磁阀线圈 YV3 不得电时 P_2 与 A_2 接通→主油泵所提供的压力油（1.5～2.0MPa）经 M 侧减压阀 MPR－02P－0－20 调节后（0.3～0.6MPa）顶开液控单向阀（P_4 与 P_5 接通）自进油口 F 进入尾座液压缸中→活塞在压力油的作用下向左移动→尾座液压缸左腔内油液自出油口 E 和阀口 B_3、T_3 而流回油箱内→在顶尖伸出到位压下行程开关 SQ01 后电磁阀线圈 YV3 得电使 P_2 与 B_2 接通→主油泵所提供的压力油经 N 侧减压阀 MPR－02P－0－20 调节后（0.8～1.5MPa）继续通过液控单向阀向尾座液压缸的右腔提供高压油以持续顶紧工件完成磨削任务。

② 尾座顶尖套筒退回：电磁阀线圈 YV2 得电时其推杆将阀芯推向右端而使 P_3 与 B_3 接通、A_3 与 T_3 接通→YV3 失电时 P_2 与 A_2 接通（在复位弹簧作用下处于常态位）→主油泵所提供的压力油（1.5～2.0MPa）经 M 侧减压阀调节后（0.3～0.6MPa）自出油口 E 进入尾座液压缸中→活塞在压力油的作用下向右移动→因液控单向阀经其控制油口 K 被通入低压油而实现反向开启（P_5 流至 P_4）进而尾座液压缸右腔内的油液自进油口 F 和阀口 A_3、T_3 而流回油箱内→直至行程开关 SQ02 被压下。

③ 减压阀 MPR－02P－0－20（字母 MPR 为系列号，数字 02 为通径代号，02P 中字母 P 为功能动作孔，02P－后的数字 0 为调压范围在 0.15～3.5MPa，数字 20 为设计代号）的压力调整：先放松锁紧螺母，再顺时针慢慢转动手柄（不带塑料旋钮）可使油液的压力增大，反之油液压力减小，调节完毕应拧紧锁紧螺母。

（3）减压阀常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-21。

表 4-21 减压阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
出口压力 p_2 几乎等于进口压力 p_1 而不能减压（不随调压手柄旋转而变化）	1）主阀芯上或阀体孔沉割槽棱边上有毛刺、配合间隙内卡有污物；主阀芯、阀体孔的形位公差超差产生液压卡紧使主阀芯卡死在最大开度（y_{max}）位置上	研磨法修复主阀芯上或阀体孔沉割槽棱边上的毛刺与拉伤；拆洗减压阀以去除污物，并对系统的油液进行精过滤；修复或更换形位公差超差的主阀芯与阀体孔
	2）主阀芯与阀体孔配合过紧或装配时主阀芯与阀体孔拉毛，主阀芯卡死在最大开度位置上而不能减压	研磨法修复阀体孔的拉伤并选配主阀芯，以保证合理间隙（如 J 型减压阀的配合间隙一般为 0.007 ~0.015mm）
	3）主阀芯短、阻尼孔或阀座孔堵塞而失去自动调节机能，主阀弹簧将主阀推向最大开度呈直通无阻态	拆洗减压阀并用细钢丝（如 ϕ0.8 ~ 1mm）通一通主阀芯上的阻尼小孔做到目视可见亮光，或用干燥清洁的压缩空气将其吹通
出口压力 p_2 很低，即使拧紧调压手轮也不能使压力升高	1）减压阀进出油口接反，板式减压阀的安装板设计错误，管式减压阀的管路接错	J 型减压阀的进出油口与 Y 型溢流阀的进出油口正好相反；使用时注意阀体上油口附近的钢印标记（如 P_1，P_2，L 等）
	2）阀进口压力太低，经减压阀芯节流后出口压力更低	查明进油口压力低的原因，如溢流阀故障、管路泄漏严重等
	3）先导锥阀与阀座配合面间因污物滞留而接触不良不能密合；先导锥阀有严重划伤，阀座配合孔圆度差、有缺口而造成先导阀芯与阀座孔不密合	拆洗先导阀和主阀，修复被划伤的零件，更换磨损严重或圆度差的阀座孔等组成件
	4）拆修减压阀时漏装锥阀或锥阀未装在阀座孔内	重新装配减压阀
	5）调压弹簧错装为软弹簧或因弹簧疲劳产生永久变形、折断等，造成出口压力只能调至某一较低的定值	选择合适的调压弹簧，重新装配减压阀
	6）调压手轮因螺纹拉伤或有效深度不够，不能拧至底部而使得压力不能调至最大	重新攻丝至底部使调压手轮可全部拧入
	7）阀盖与阀体之间密封不良（如 O 形圈漏装或损伤、压紧螺钉未拧紧以及阀盖端面的平面度超差使之四周凸中间凹）而严重漏油	更换新 O 形圈与符合要求的阀盖等，拧紧阀盖与阀体的连接螺钉，在阀盖与阀体的配合面上涂抹一定量的密封胶，消除油液泄漏
	8）主阀芯因污物、毛刺等卡死在小开度位置上，压力 p_2 低	拆卸减压阀，研磨法修复毛刺、剔除锥度污物等

3. 顺序阀的实例应用与故障排除

（1）简介 顺序阀是利用油液压力作为控制信号来控制液压系统中两个或两个以上执行元件（液压缸等）先后动作顺序的一种压力控制阀（见图 4-48）。在油液压力达不到顺序阀预先调定的压力时顺序阀关闭，一旦油液压力达到或超过顺序阀预先调定的压力时顺序阀将开启，油液自顺序阀的出油口进入二次油路使下一个执行元件动作以起到一个开关的作用（不稳压）。它主要应用于多个液压缸的顺序动作控制，通过改变控制方式（据控制压力的来源不同分为内控型和外控型）、泄油方式（据弹簧腔泄漏油的引出方式不同分为内泄型和外泄型）和二次油路的连接方式，还可用做背压阀、卸荷阀和平衡阀（使垂直放置的液压缸不因自重而下落）等。顺序阀按结构型式和工作原理可分为直动式和先导式两种。

1）直动式顺序阀：通常为滑阀结构，其工作原理与直动式溢流阀相似，均为进油口测压，但顺序阀中设置了阀芯小的控制活塞以减小调压弹簧（设定阀进口的开启压力）的刚度，其出油口与某一执行元件相连而不接回油箱，弹簧腔泄漏油口L单独接回油箱。①当压力油自顺序阀的进油口 P_1 进入并经阀体上的孔道a和端盖上的阻尼孔b流至控制活塞（测压面积为A）的底部时，一旦作用于控制活塞上的液压力能够克服阀芯上调压弹簧所施加的弹簧力，阀芯将向上移动使阀口全部打开（直动式溢流阀的阀口为微开状态），油液便从出油口 P_2 流出。该阀称为内控外泄型直动式顺序阀（见图4-49）。②若将图4-49a中的端盖旋转90°安装，切断进油口通向控制活塞下腔的通道a，去除外控口K上的螺塞并引入控制油 P_c，则成为外控型直动式顺序阀（见图4-50）。此类顺序阀的阀口开启取决于控制油的压力 p_c，与该阀进油口的压力 p_1 无关，并且阀的出油口 P_2 接回油箱时就会成为一个卸荷阀。③由于直动式顺序阀进出油口的油液均为压力油，故需要采用外泄方式来卸掉弹簧腔内油液以使阀芯的启闭工作更加可靠。

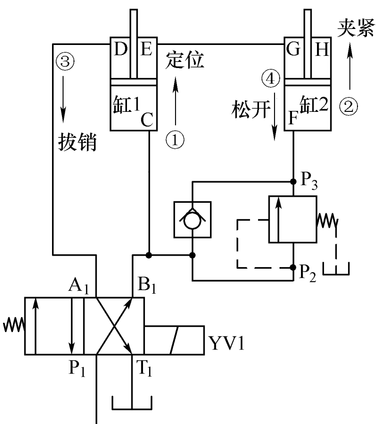


图4-48　顺序阀在多液压缸顺序动作控制回路中的应用

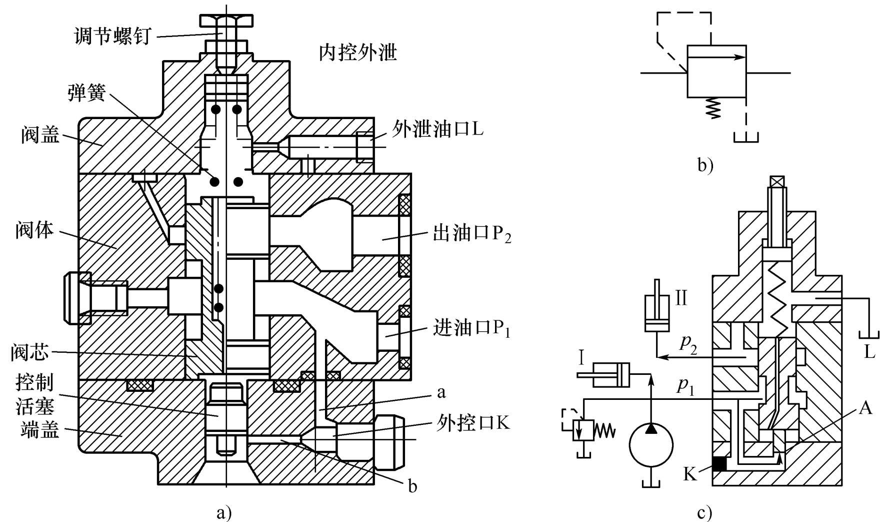


图4-49　内控外泄型直动式顺序阀的结构图及原理图

a）结构图　b）图形符号　c）原理图

2）先导式顺序阀：若在直动式顺序阀的基础上，将主阀芯上腔的调压弹簧用半桥式先导调压回路代替，并将先导阀的调压弹簧腔引至外泄油口L上，则构成图4-51所示的先导式顺序阀。它的原理与先导式溢流阀相似，所不同的是前者的二次油路即出口不接回油箱及外泄油口L须单独接回油箱。此种顺序阀因外泄漏量过大（执行元件顺序动作后，先导阀的顺序调整压力可能继续升高使导阀口开度很大而造成流量自导阀处大量外泄）而不宜用于小流量液压系统中。为减少导阀处的外泄量，可将导阀设计为滑阀结构，令导阀的测压面与导阀阀口的节流边分离。其先导级可设计为：一是导阀的测压面与主油路进口一次压力 p_1 连通使导阀的调压弹簧直接与 p_1 进行比较，二是导阀阀口的回油接出口二次压力 p_2 以减小外泄流量，三是导阀的调压弹簧腔接外泄量极小的外泄油口L以避免导阀芯的弹簧侧形成背压，四是先导级仍采用带进油固定节流口

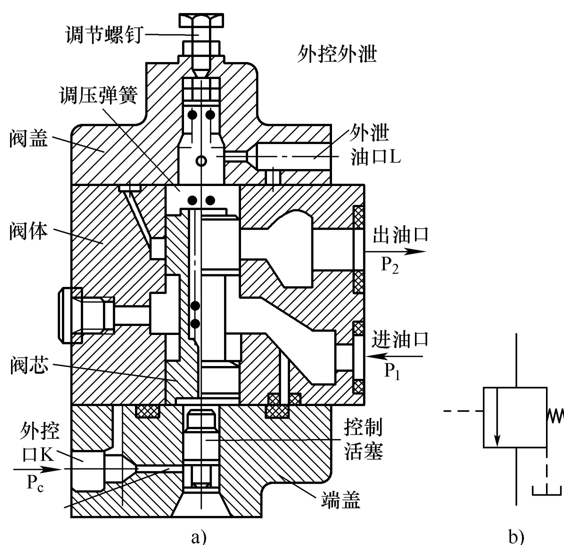


图 4-50 外控外泄型直动式顺序阀的结构图

a）结构图 b）图形符号

（进油压力为 p_1）的半桥回路、先导阀阀口仍作为先导级的回油阀口但回油压力为 p_2，图 4-52 所示的 DZ 型先导式顺序阀就是基于此原理设计的。在图4-52 中，处于原始位置的主阀芯将进油口 P_1 和出油口 P_2 切断，P_1 的压力油通过 2 条油路——1 路经阻尼孔 e 进入主阀上腔并到达先导阀中部的环形腔而另 1 路直接作用于先导滑阀的左端。当进口压力 p_1 低于先导阀弹簧的调定压力 $F_{指}$时，先导滑阀在弹簧力的作用下处于图示位置；而当进口压力 p_1 大于先导阀弹簧的调定压力 $F_{指}$时，先导滑阀在左端液压力的作用下向右移动，并使先导阀中部的环形腔与连通顺序阀出口的油路沟通，从而顺序阀的进口压力 p_1 经阻尼孔 e、主阀上腔和先导阀流向出口。在阻尼孔 e 的影响下主阀上腔的压力会低于其下端（即进口）的压力 p_1，由此主阀芯开启使顺序阀的进、出油口进行沟通，此时出口压力 p_2 近似等于进口压力 p_1 使得压力损失很小（阻尼孔 e 的泄漏不流向外泄油口 L 而是流向出油口 P_2，主阀上腔油压与 $F_{指}$无关、仅通过刚度很弱的主阀弹簧与主阀芯下端的液压力来保持主阀芯的受力平衡）。

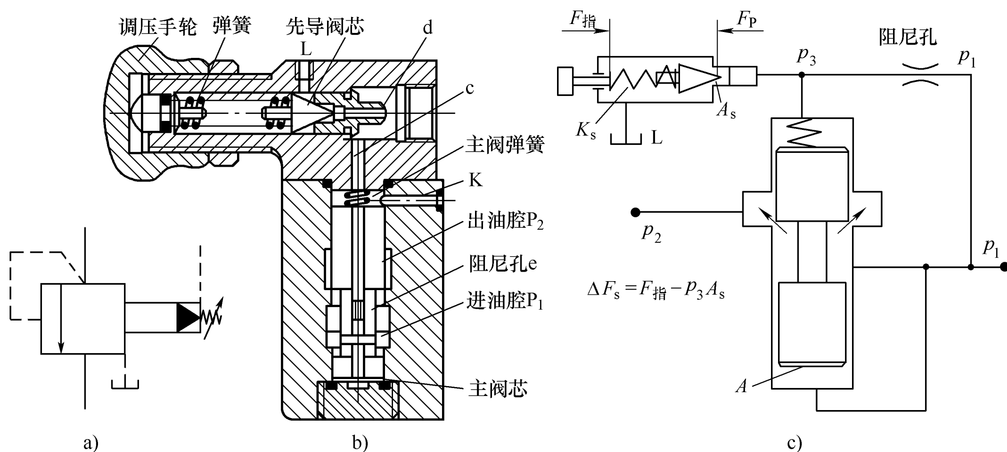


图 4-51 外泄量较大的一种先导式顺序阀的结构图及原理图

a）图形符号 b）结构图 c）原理图

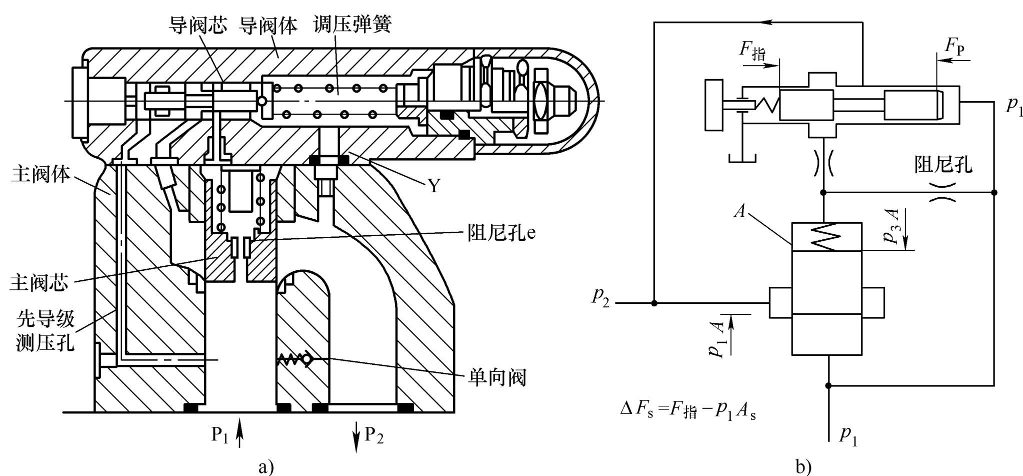


图4-52　DZ型先导式顺序阀的结构图及原理图

a）结构图　b）原理图

（2）顺序阀在双泵供油快速运动回路中的应用（见图4-53）　低压大流量泵1和高压小流量泵2组成的双联泵作为系统的动力源，外控内泄型顺序阀3用于设定双泵供油时系统的最高工作压力 p_0，且 $p_0 <$（10%～20%）p_2，先导式溢流阀5用于设定高压小流量泵2的最高工作压力 p_2。当二位二通型电磁换向阀6处于图示常通位置（不得电时在复位弹簧作用下处于常态位）且很小的外负载使系统压力 $p < p_0$ 时，低压大流量泵1和高压小流量泵2将同时向系统供油，此时单杆双作用活塞缸的C腔进油并推动活塞快速向右运动（即快进）。在换向阀6的电磁铁通电后换向阀由常通状态转为关闭状态，单杆双作用活塞缸D腔内的油液便经可调节流阀7回流油箱。在可调节流阀7的作用下，系统压力升高并达到顺序阀3的调定压力 p_0，使大流量泵1通过顺序阀3（将外控型顺序阀的出油口接回油箱且外泄改为内泄后构成卸荷阀）进行卸荷（可减小动力消耗使回路效率较高），此时单向阀4自动关闭，仅由小流量泵2单独向活塞缸的C腔供油，活塞将慢速向右运动（即工进）。此种回路多应用于执行元件快进和工进速度相差较大的场合。

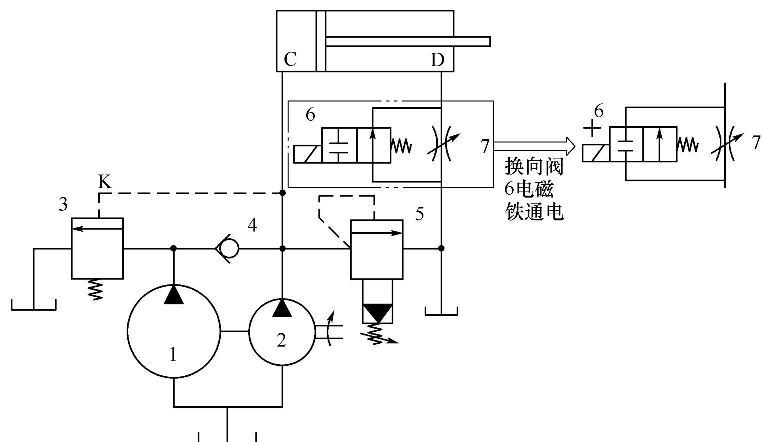


图4-53　双泵供油快速运动回路的液压原理图

1—低压大流量泵（定量泵）　2—高压小流量泵（定量泵）　3—外控内泄型顺序阀（卸荷阀）　4—单向阀　5—先导式溢流阀　6—二位二通型电磁换向阀（常通）　7—可调节流阀

（3）顺序阀常见故障的可能原因及处理方法　见表4-22。

表 4-22 顺序阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
设定值（调定值）不稳定，不能使执行元件顺序工作或者顺序动作错乱	1）主阀芯因污物或毛刺卡住而停留在关闭位置，即 P_1 腔与 P_2 腔不通，没有油液自顺序阀的 P_2 口流出，造成后续油缸无动作或无顺序动作	拆洗顺序阀去除污物并对系统油液进行精过滤，研磨法修复主阀芯的毛刺使阀芯运动顺滑
	2）主阀芯因污物或毛刺卡死在全开位置使顺序阀变为直通阀。如在图 4-48 所示的多缸顺序动作控制回路中，夹紧油缸 2 空行程的负载小于定位油缸 1 空行程的负载时则出现先夹紧后定位的顺序动作颠倒，且顺序阀进出油口的压力会同时上升或同时下降	拆洗顺序阀以去除污物并对系统油液进行精过滤，研磨法修复主阀芯的毛刺使阀芯运动顺滑
	3）对液控顺序阀和外控顺序阀，当控制油道被污物堵塞、控制活塞被污物毛刺卡死、或控制活塞的外圆与孔的配合过松导致控制油泄漏时，顺序阀的设定值不稳定而造成无顺序动作	拆洗顺序阀去除污物，用细钢丝通一通控制油道或用干燥清洁的压缩空气将其吹通，剔除毛刺，选配外圆尺寸合格的控制活塞使其与孔的配合间隙合格
	4）顺序阀主阀芯上的阻尼孔被堵塞。对 X 型阀其主阀芯打开成直通阀；对 XF 型阀其阻尼孔堵塞后使自控制活塞泄至主阀芯下腔的控制油无法通过该阻尼孔进入调压弹簧腔及再从外泄油口 L 回流油箱，时间一长 P_1 腔内油液经阀芯的环状间隙也漏向主阀芯下腔而作用于主阀芯的下端面上（承压面积大），当向上的作用力克服主阀芯上腔向下作用的弹簧力时主阀芯开启、变为常通阀，使该阀进出油口的压力同时上升或下降而导致动作顺序错乱	拆洗顺序阀去除污物，对系统油液进行精过滤，并用细钢丝（如 ϕ0.8～1mm）通一通主阀芯上的阻尼小孔做到目视可见亮光，或用干燥清洁的压缩空气将其吹通；必要时更换控制活塞
	5）系统内溢流阀等其他调压元件故障使系统压力无法建立，即不能达到顺序阀设定的工作压力，造成顺序阀出油腔无油液流出	检查系统压力上不去的原因并排除，如油液经溢流阀全部流回油箱、顺序阀之前管路或元件泄漏严重等
当系统未达到顺序阀设定的工作压力时油液却从二次出口 P_2 流出	1）主阀芯与阀孔的配合间隙因磨损等原因造成过大，使一次侧 P_1 的压力油泄向二次侧致二次侧的压力升高，再加上弹簧的作用力，可能会使顺序阀开启，此时 P_1 腔的压力虽未达到顺序阀设定的工作压力但二次出口 P_2 也会有油液流出	修复或更换主阀芯以保证合理的装配间隙
	2）其他原因造成内泄漏。目前阀类零件多为圆柱滑阀式结构，因阀芯在阀孔内移动故必然存在环状间隙，此间隙不可避免会带来内泄漏而引起二次侧有油液流出使油缸产生移动	采用主阀芯关闭时二次侧与泄油接通、开启时二次侧与泄油关断的特殊设计补救，使一次侧常维持在远低于设定的压力下工作仅在阀开启时压力才升高
超过设定的工作压力但顺序阀不打开	1）主阀弹簧错装为硬弹簧	更换为刚度符合要求的软弹簧
	2）控制活塞卡死不动	剔除毛刺，清洗阀内零件，去除污物，选配外圆尺寸符合要求的控制活塞使其与孔的配合间隙合格
	3）拆修重装时漏装控制活塞造成控制压力油自阀芯阻尼孔至泄油孔而卸压，使主阀芯在弹簧力作用下关闭，或控制活塞装反（小头朝上）而堵住先导压力油使先导压力控制失去作用	拆开顺序阀重新按正确位置（大头朝上，小头下沉）装上控制活塞

4. 压力继电器的实例应用与故障排除

（1）简介　压力继电器是利用工作液体（如液压油）的压力来启、闭电气触点的液电信号转换元件。当控制压力达到压力继电器的调定压力时发出电信号以控制电磁铁、电磁离合器和继电器等电气元件动作，实现油路转换、泵的加载或卸荷、执行元件顺序动作及系统的安全保护和连锁等功能。根据压力与位移转换部件的结构型式，可将压力继电器分为柱塞式、弹簧管式、膜片式和波纹管式 4 种；按发出电信号的功能不同又可将其分为单触点式和双触点式。以最为常用的柱塞式压力继电器（见图 4-54）为例说明其工作原理：当进油口 P 处的油液压力达到压力继电器的调定压力时，作用于柱塞 1 上的液压力克服弹簧力使顶杆 2 向上移动，由此微动开关 4 的触点闭合并发出电信号。通过调节螺钉 3 来改变弹簧的压缩量，可实现继电器动作压力的调节。

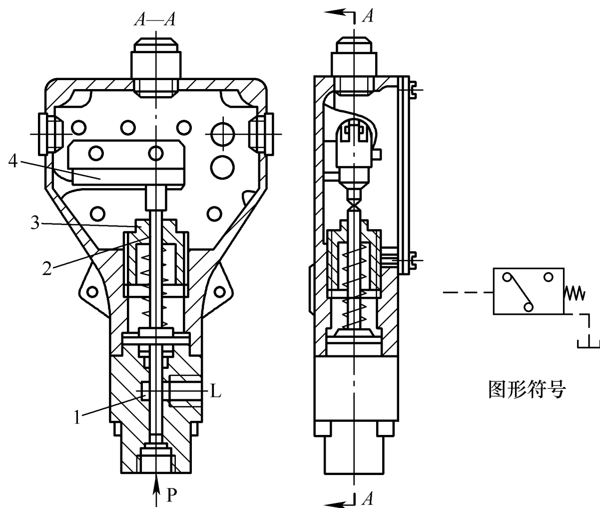


图 4-54　柱塞式压力继电器的结构图

1—柱塞　2—顶杆　3—调节螺钉　4—微动开关　L—泄油口　P—进油口

（2）压力继电器在压力控制顺序动作回路中的应用　图 4-55 所示的压力控制顺序动作回路，包括定量液压泵、三位四通型电磁换向阀、直动式溢流阀、压力继电器和单杆双作用活塞缸等液压元件，可使 2 个或 2 个以上的执行元件严格按预定的先后动作顺序进行运动，如机床回转工作台的抬起和转位、定位夹紧机构的定位和夹紧以及进给系统的先夹紧后进给等。此顺序动作回路包含以下 5 个动作：

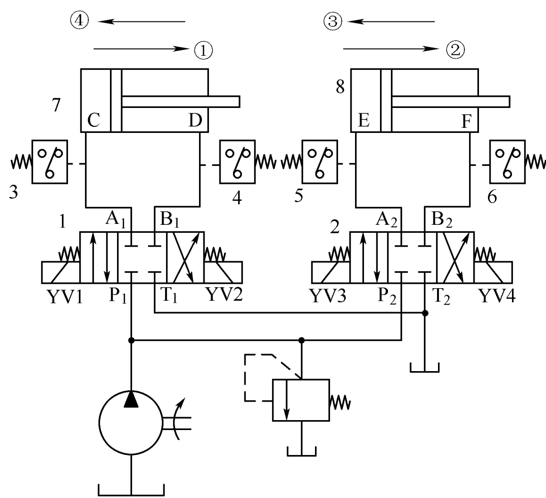


图 4-55　压力控制顺序动作回路的液压原理图

1、2—电磁换向阀　3、4、5、6—压力继电器

7、8—活塞缸

1）动作 1：线圈 YV1 得电后，三位四通型电磁换向阀 1 的 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 T_1 接通，定量液压泵提供的压力油进入活塞缸 7 的 C 腔并推动活塞杆向右移动，D 腔内油液经阀口 B_1、T_1 回流油箱。

2）动作 2：活塞缸 7 向外伸出至行程右端后，油液使 C 腔内压力上升，直至达到压力继电器 3 的调定压力使其微动开关的触点闭合而发

出电信号，线圈 YV1 断电且 YV3 得电，电磁换向阀 2 的 P_2 与 A_2 接通、B_2 与 T_2 接通，压力油进入活塞缸 8 的 E 腔并推动活塞杆向右移动，F 腔内油液经阀口 B_2、T_2 回流油箱。

3）动作 3：待活塞缸 8 向外伸出至行程右端后，油液使 E 腔内压力上升，直至达到压力继电器 5 的调定压力使其微动开关的触点闭合而发出电信号，线圈 YV3 断电且 YV4 得电，电磁换向阀 2 的 P_2 与 B_2 接通、A_2 与 T_2 接通，进而压力油进入活塞缸 8 的 F 腔内并推动活塞杆向左移动，E 腔内油液经阀口 A_2、T_2 回流油箱。

4）动作 4：待活塞缸 8 回退行程左端后，油液使 F 腔内压力上升，直至达到压力继电器 6 的调定压力使其微动开关的触点闭合而发出电信号，线圈 YV4 断电且 YV2 得电，电磁换向阀 1 的 P_1 与 B_1 接通、A_1 与 T_1 接通，压力油进入活塞缸 7 的 D 腔使活塞杆向左移动，C 腔内油液经阀口 A_1、T_1 回流油箱。

5）循环至动作 1：待活塞缸 7 回退行程左端后，油液使 D 腔内压力上升，直至达到压力继电器 4 的调定压力使其微动开关的触点闭合而发出电信号，线圈 YV2 断电且 YV1 得电，电磁换向阀 1 的 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 T_1 接通，压力油又进入活塞缸 7 的 C 腔而自动重复上述动作过程，直至按下停止按钮为止。

（3）压力继电器常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-23。

表 4-23　压力继电器常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
压力继电器（表内简称继电器）自身产生动作误发信号	1）柱塞与中体的配合不好或因毛刺、不清洁致使柱塞卡死而继电器不动作	保证柱塞与中体孔的配合间隙，剔除毛刺并清洗干净，再在零件表面涂抹黑色的二硫化钼以加强润滑
	2）继电器内油液压力上升时破裂的橡胶薄膜无法鼓起并推动柱塞工作，而是直接作用于柱塞上并从柱塞和中体孔的配合间隙泄漏掉，使继电器的动作值和返回区间存在明显变化和不稳定现象	此时必须更换新的橡胶薄膜，或直接更换继电器
	3）微动开关定位不灵敏、复位性差；微动开关内的簧片弹力不够，触头压下后不能弹起来，或因灰尘粘住触头使微动开关信号不正常而误发动作信号	修理或更换微动开关，必要时直接更换继电器
	4）继电器制造精度不好，如顶杆在中体槽内别劲、弹簧下座与上体间配合间隙过小、柱塞尺寸不合格等以及继电器的调节螺钉调得过松，顶杆不能顶起微动开关使继电器失灵	修复或更换存在问题的顶杆、中体与柱塞等配件，并重新调节继电器的调节螺钉
	5）柱塞装入中体孔内时表层未涂抹二硫化钼使柱塞在中体孔内移动不灵活而出现误动作	在柱塞表层涂抹黑色二硫化钼以加强润滑改善柱塞移动状况
因回路原因使继电器误动作	对夹紧动作速度需调节（快慢要求）的系统，可用进、回油节流调速的方法实现调速。当继电器作为顺序安全锁的转换元件时应采取进油节流调速以免产生误动作，且接在单向节流阀或单向调速阀之后（换向时产生的液压冲击由节流阀或调速阀吸收使其后的继电器可靠工作）	
其他原因使继电器误动作或不发信号	1）油路压力的波动值超过规定范围，即宽于继电器的通断调节区间值——返回区间值，使继电器误发信号	适当将继电器的返回区间调宽

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
其他原因使继电器误动作或不发信号	2）泵或溢流阀、减压阀等故障（如溢流阀阻尼孔堵塞、阀芯卡死在大开度处、变量叶片泵调压弹簧被卡住、定子环卡死在零偏心处或叶片甩不出、减压阀出口压力低、快进电磁阀卡死）致系统压力不能建立或存在较大压力偏移使继电器误动作或不发信号	检查泵、阀存在的故障，参照相关章节内容予以排除
	3）液压系统在启动和速度换接时产生较大压力冲击使继电器误动作	使继电器发讯电路在冲击压力时处于开路状态
	4）液压缸中途卡住等意外情况致继电器提前动作	用行程阀或行程开关作信号转换元件
	5）液压缸严重内泄漏使压力腔和回油腔串通致工作压力上不去或压力时刻变化而造成继电器误动作或不发信号	据 4.1.2 节中“液压缸的常见故障与排除”的相关内容消除内泄漏

5. 节流阀的实例应用与故障排除

（1）简介　节流阀是通过改变节流面积或节流长度来控制流体流量的阀，将其与单向阀并联可组成单向节流阀。节流阀和单向节流阀均为简易型流量控制阀，在定量泵液压系统中节流阀和溢流阀配合可组成 3 种节流调速系统，即进油路节流调速系统、回油路节流调速系统和旁路节流调速系统（见图 4-56）。节流阀因无流量负反馈功能而不能补偿由负载变化所造成的速度不稳定，故一般仅将其用于负载变化不大或对速度稳定性要求不高的场合。

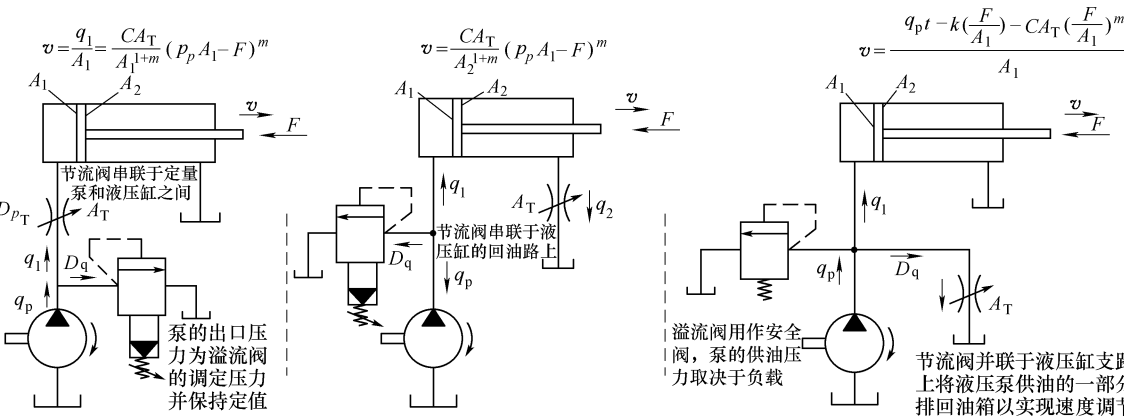


图 4-56　由节流阀和溢流阀配合组成的 3 种节流调速系统

1）节流阀的分类：按其功用，具有节流功能的阀包括节流阀、单向节流阀、精密节流阀、节流截止阀和单向节流截止阀等；按节流口的结构型式（见表 4-24），节流阀有针式、沉割槽式、偏心槽式、锥阀式、三角槽式、薄刃式等多种；按其调节功能，节流阀有简式（因作用于节流阀芯上的液压力未采取平衡措施使得在高压下调节很困难而必须在无压或低压下调节）和可调式（在任何工况下均可进行调节）两种。

2）轴向三角槽式节流阀（见图 4-57）：压力油从进油口 P_1 流入，通过节流阀芯 6 上的轴向三角槽式节流口后自出油口 P_2 流出。在进、出油口的压力差为定值时，转动调节手轮 1，可使节流阀芯 6 在顶杆 3 的推动下产生轴向位移（上下方向），节流口的开口量将随之变化（阀芯越上移开口量就越大），进而实现对流体流量的调节。节流阀芯的复位依靠复位弹簧 7 实现。

表 4-24　节流口的常见形式及其特点

形式	直角凸肩式节流口	针阀式（锥形凸肩）节流口	偏心式节流口
结构示意图			
特点	过流面积和开口量呈线性结构关系，结构简单，工艺性好；但流量调节范围较小，小流量时流量不稳定，一般节流阀较少使用	通过轴向移动的针阀调节环形通道的大小进而改变流量。此结构简单且调节范围较大，可用作截止阀；但因过流断面为同心环状间隙使得水力半径较小，小流量时易堵塞，流量受油温变化影响较大，用于要求较低的场合	节流口由偏心的三角沟槽组成，节流口的过流断面面积随阀芯的转动而变化。此结构对于小流量调节容易；但制造略显麻烦且阀芯受径向不平衡力的影响而不适宜高压工况，仅用于低压场合
形式	轴向三角槽式节流口	周向缝隙式节流口	轴向缝隙式节流口
结构示意图			
特点	阀芯的轴向开有若干个斜三角槽（高压阀有时在轴端铣两个斜面进行节流），轴向移动阀芯时开口量 h 发生变化，随之过流断面面积改变，流量被调节。此结构简单，水力半径大，调节范围宽，小流量时稳定性好（最低稳定流量 50ml/min），目前应用最广	阀芯上开有狭缝，油液可通过该狭缝流入阀芯内孔再经左边的孔流出；旋转阀芯可改变缝隙通流面积的大小。此种节流口可做成薄刃结构以获得较小的稳定流量，但阀芯受径向不平衡力的影响而仅适用于低压节流阀中	套筒上开有轴向缝隙，轴向移动阀芯即可改变缝隙通流面积的大小。此种节流口可做成壁厚为 0.07 ~ 0.09mm 的单薄刃或双薄刃结构以获得较小的稳定流量（最低稳定流量 20ml/min）和稍大的水力半径，且流量对温度不敏感、不易堵塞；但节流口在高压工况下易变形且工艺性复杂。可用于性能要求（稳定流量等）较高的场合，如调速阀中

3）具有螺旋曲线开口和薄刃式结构的精密节流阀（见图 4-58）　节流阀芯 2 与阀套 4 上开设的窗口匹配后，可构成具有某种形状的薄刃式节流孔口。转动手轮 1（由顶部的钥匙 3 锁定）和节流阀芯 2 后，螺旋曲线相对于套筒窗口升高或降低而改变节流面积，并实现对流体流量的调节。此种节流阀不但调节流量受温度变化的影响较小，而且调节力矩较小（节流阀芯上的小孔对阀芯两端的液压力有一定的平衡作用）。

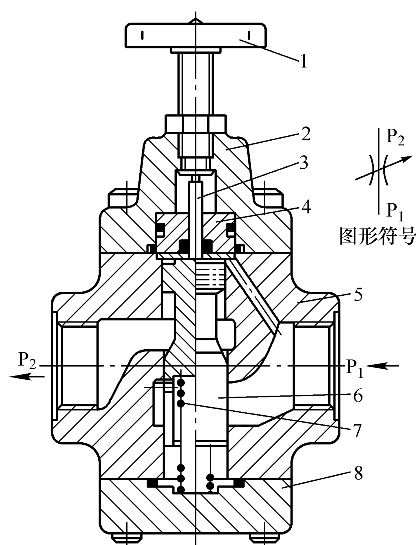


图4-57 轴向三角槽式节流阀的结构图
1—调节手轮 2—顶盖 3—顶杆 4—导套
5—阀体 6—节流阀芯 7—复位弹簧 8—底盖

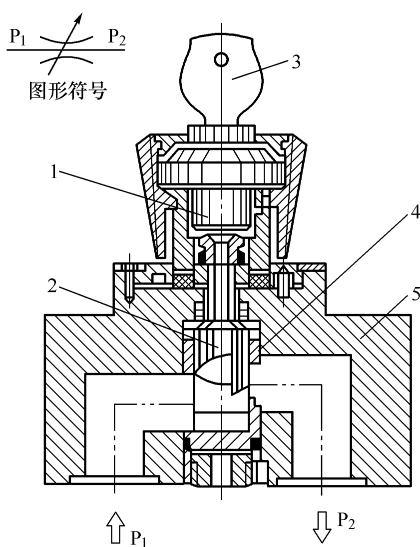


图4-58 螺旋曲线开口式节流阀的结构图
1—手轮 2—阀芯 3—钥匙 4—阀套 5—阀体

4）单向节流阀（见图4-59）：它是由单向阀和节流阀并联组成的，可用于单方向控制流量的液压系统中，实现工作部件正向以可调的速度进给和反向的快速退回。其节流阀芯被分为上阀芯5和下阀芯6两部分。当流体正向流动（P_1至P_2）时，其节流过程与节流阀是一样的，节流缝隙的大小可通过调节手轮1进行调节；当流体反向流动（P_2至P_1）时，依靠油液压力将起单向阀作用的下阀芯6压下（单向阀开启）来实现流体的反向自由流动。

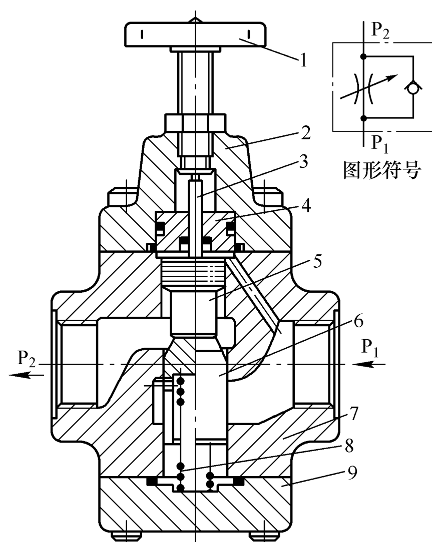


图4-59 单向节流阀的结构图
1—调节手轮 2—顶盖 3—顶杆
4—导套 5—上阀芯 6—下阀芯
7—阀体 8—复位弹簧 9—底盖

（2）单向节流阀 MTC－02－B－1－20 在MK1350×3000型数控外圆磨床上摇臂进/退控制方面的应用（见第4.1.4节中图4-43） 三位四通型电磁换向阀SWH－G02－C2－D24－20的线圈YV5得电时其推杆将阀芯推向左端而使P_4与A_4接通、B_4与T_4接通→主油泵所提供的压力油（1.5～2.0MPa）经R侧减压阀MPR－02P－0－20调节后（0.2～0.4MPa）自进油口G进入双作用式摇臂液压缸中→摇臂在缸内压力油的作用下将自上方翻下（前进）并带动Marposs P7在线径向测量仪按预定轨迹进入测量位置（工件外圆直径）→二位四通型电磁换向阀SWH－G02－B2－D24－20的线圈YV6得电使其阀口P_5与B_5接通、A_5与T_5接通→随摇臂前进其液压缸内的回油自出油口H和阀口B_4、T_4、P_5、B_5回流并通过单向节流阀MTC－02－B－1－20（油液自P_6至P_7，为正向流动）进入油箱内→调节该单向节流阀可改变油液回流的速度以控制Marposs P7量仪慢速下降至工件测量位置→电磁阀线圈YV7得电时其推杆在复位弹簧的作用下将阀芯推向右端（即常态位）而使P_4与B_4接通、A_4与T_4接通，并且

YV6 失电时 P_5 与 A_5 接通、B_5 与 T_5 接通→主油泵所提供的压力油经 R 侧减压阀调节后自出油口 H 进入双作用式摇臂液压缸中→摇臂在压力油作用下自下方翻上（退回）并带动 Marposs P7 量仪快速离开工件测量位置。

（3）节流阀常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-25。

表 4-25　节流阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
节流作用失灵使执行元件不能变速或速度变化范围不大，完全关死时执行元件不动作	1）节流阀芯因毛刺卡住或因阀体沉割槽尖边及阀芯倒角处的毛刺卡住阀芯，此时虽松开调节手轮使顶杆上移，但以复位弹簧力不能克服阀芯的卡紧力故阀芯不能随顶杆的上移而上抬。若阀芯卡死在关闭阀口位置时将无流量输出，若阀芯卡死在某一开度位置则仅有小流量输出	用尼龙刷等机械去毛刺的方法清除阀孔内的毛刺，用油石等手工精修的方法去除阀芯上的毛刺，清理后用干净的清洗油清洗
	2）因油液脏、老化或未经精细过滤等，使油液内的污染粒子楔入阀芯与阀体孔的配合间隙内而卡死阀芯致节流失灵；或污物堵塞节流口而节流失灵	拆洗节流阀去除污物，对系统的油液进行精过滤，必要时全部更换系统内油液
	3）阀芯和阀孔的形位公差不合格（失圆带锥度等）造成液压卡紧而致节流调节失灵	研磨法修复阀孔，重新选配阀芯保证间隙
	4）阀芯与阀体孔间配合间隙过小或过大，分别造成阀芯卡死、内泄漏大	重新选配阀芯以保证合理的间隙
	5）因液压系统长时间未使用，油液中的水分等使阀芯锈蚀卡死在阀孔内，重新使用时节流调节失灵	液压系统长时间不用时应彻底放掉系统内的油液并作好防护
	6）阀芯与阀孔内外圆柱面出现拉伤、划痕使阀芯运动不灵活或卡死、内泄漏量大而造成节流调节失灵	阀芯轻微拉毛时可抛光再用，严重拉伤时先用无心磨磨去划痕再用电镀法修复
流量虽可调节但调好的流量不稳定，使执行元件的速度不稳定，尤其是在最小稳定流量和节流阀进出口压力差为最低工作压力值时最厉害	1）油液未进行精细过滤，油中杂质堆积和黏附在节流通道壁上，造成通流面积减少使执行元件速度减慢；完全堵死则造成断流，污物被冲走则造成突跳	可采取如下抗“堵塞”措施：一是采用电位差小的金属制作节流阀（如 LF 型节流阀为钢对铸铁）；二是要求过流很小时应在节流阀进油口前安装过滤器以对油液进行精过滤，并定期换油；三是减少通道湿周长、扩大水力半径，使污物不宜停留，圆形孔最好、正方形次之、正三角形再次之，矩形最差；四是薄刃结构的节流口比狭长缝隙节流口的抗堵塞性能好，但前者加工工艺复杂
	2）油液中极化分子和金属表面的吸附现象造成堵塞，分子链因带电和互相吸引而使一端带正电一端带负电，分子链将越来越长和愈来愈大，加之金属表面电位差的影响，这些极化分子链被吸引并在节流缝隙和开口处形成一层牢固的边界吸附层（厚度 5～10μm），从而破坏了节流缝隙原有的几何形状和大小	
	3）压力油通过节流缝隙时产生压力损失而使得油温局部升高、油液氧化变质，在节流口处析出胶质、沥青或炭渣等并附着于节流口壁面，造成有效通流面积减小、甚至堵塞	
	4）混在油液中的尘埃、切屑、粉尘或油漆剥落片等机械杂质和油液劣化、老化的生成物，通过节流缝隙时造成堆积而堵塞节流通道，造成流量不稳定	
	5）节流阀调整好并锁紧后，因机械振动等原因使锁紧螺钉松动，造成调节杆在支承套上旋转松动，节流阀的开度被改变进而引起流量发生变化	消除机械振动的振源，可使用带锁紧调节手轮的节流阀

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
流量虽可调节但调好的流量不稳定，使执行元件的速度不稳定，尤其是在最小稳定流量和节流阀进出口压力差为最低工作压力值时最厉害	6）油温随机床运行时间增加而升高，油液黏度相应降低，通过节流开口的流量增大或因内泄漏增加而减小，进而出现流量不稳定的现象	减少系统发热，更换黏度指数高的油液等
	7）系统负载变化大导致液压缸工作压力变化，因节流阀没有像调速阀那样的压力反馈补偿装置而使得流经节流阀的压差经常变化，进而造成流量不稳定	可将节流阀改为调速阀
	8）间隙密封的节流阀芯因磨损致配合间隙增大后内泄漏量增大而影响流量稳定	保证节流阀芯与阀孔间的合理配合间隙
	9）系统内混入的空气使油液可压缩性大大增加，时而压缩、时而释放使流量不稳定	参照表 4-13“液压缸爬行的故障原因及处理方法”中内容排除故障
	10）调节杆上的 O 形圈沟槽太深或 O 形圈磨损老化等造成节流阀的外泄漏大（主要在调节手轮处）使流量不稳定	可更换符合要求的调节杆、O 形圈等

6. 调速阀的实例应用与故障排除

（1）简介　因进出口压力差 Δp 随负载而变化的节流阀会影响通过油液的流量（流量公式 $q=CA\Delta p^m$，C 为流量系数，$m=0.5$ 或 1）使执行元件运动速度不稳定，故在速度稳定性要求较高的场合中出现了调速阀。调速阀是根据“流量负反馈”原理设计，并由节流阀和定差减压阀（保持节流阀前后压差不变）串联而成的流量控制阀，它既可用在进油路上也可用在回油路上，以调节系统内油液的流量从而改变执行元件的运动速度。基于“串联减压式”和“并联溢流式”的差别，调速阀有串联减压式调速阀和溢流节流阀 2 种主要类型，其中串联减压式调速阀又有普通型和温度补偿型 2 种结构。

1）普通型调速阀（见图 4-60）：采用“压差法”测量流量的串联减压式调速阀是由定差减压阀 2 和节流阀 4 串联组成的组合阀，节流阀 4 充当流量传感器，节流阀口 3 不变时定差减压阀 2 作为流量补偿阀口，通过流量负反馈自动稳定节流阀前后的压差以保持其流量不变；当节流阀口 3 改变时阀内油液的流量将随之改变。工作时，节流阀 4 前后的压力 p_2 和 p_3 作为流量反馈信号分别引至减压阀芯两端的测压活塞（为增大反馈力以克服液动力和摩擦力的不利影响，测压活塞的直径要比阀口处阀芯的直径大）上，并与定差减压阀芯一端的弹簧（充当指令元件）力 $F_{指}$ 相平衡，以使减压阀芯处于某一平衡位置。当负载压力 p_3 增大而引起负载流量和节流阀前后的压差（p_2-p_3）变小时，作用于减压阀芯右（下）端的压力差会随之减小，减压阀芯向右（下）移动，减压阀口 1 增大，压降减小使 p_2 随之增大，从而使节流阀前后的压差（p_2-p_3）保持不变；反之亦然。如此就使调速阀的流量恒定不变（不受负载影响）。

2）温度补偿型调速阀：普通型调速阀的流量虽能基本上不受外部载荷变化的影响，但当流量较小时节流口的通流面积会较小，此时节流孔的长度与通流断面的水力半径的比值相对增大，进而油液黏度的变化对流量变化的影响也将增大，因此当油温升高后油液黏度变小时，阀的流量仍会增大。为了减小温度对流量的影响，通常采用温度补偿型调速阀（见图 4-61）。温度补偿型调速阀也是由减压阀和节流阀两部分组成的，其中减压阀部分的原理与普通型调速阀的相同，而节流阀部分在结构上采取了温度补偿措施——节流阀芯杆（温度补偿杆）由热膨胀系数较大的材料（如聚氯乙烯塑料）制成，在油温升高时芯杆的热膨胀使节流阀口关小以刚好抵消因油液黏度降低带来的流量增加影响。

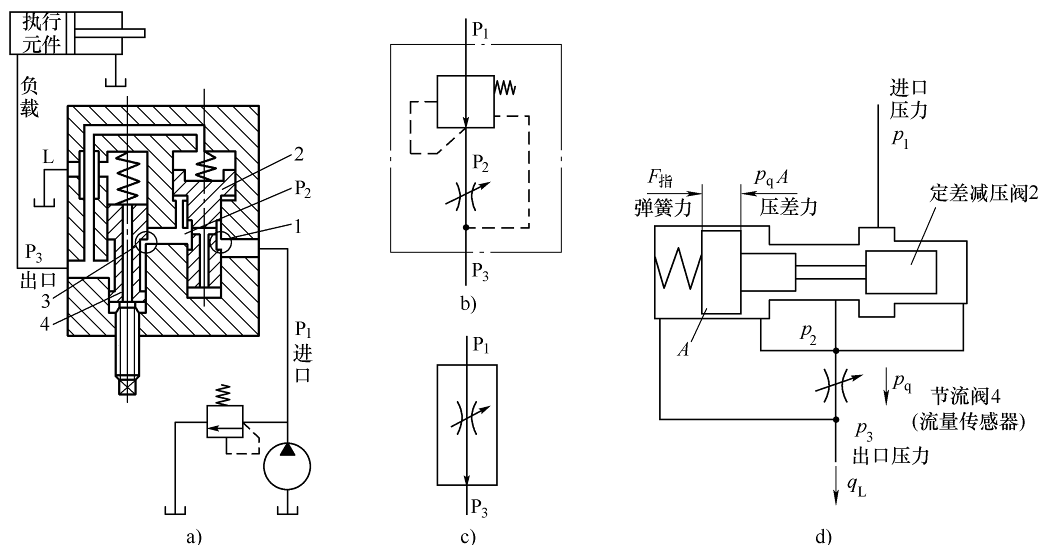


图 4-60 普通型调速阀（先减压后节流）

a）结构原理图 b）详细图形符号 c）简化图形符号 d）反馈原理图

1—减压阀口 2—定差减压阀（芯） 3—节流阀口 4—节流阀（芯）

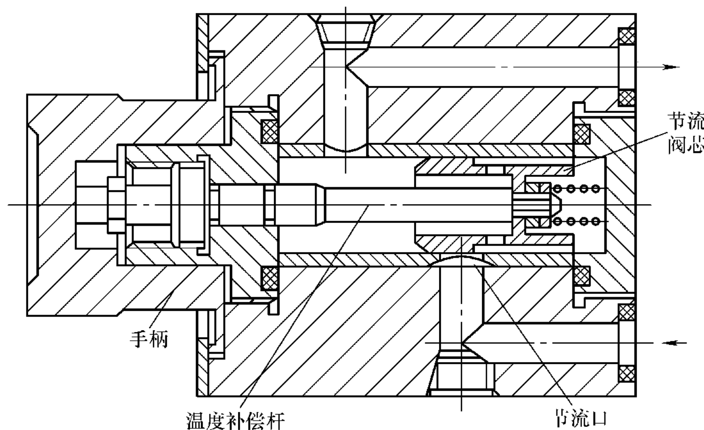


图 4-61 温度补偿型调速阀

3）溢流节流阀（见图 4-62）：溢流节流阀是根据“并联溢流式流量负反馈”原理设计而成的一种流量控制阀，它与负载并联使用，可视其为节流阀和定差溢流并联组成的。其中节流阀充当流量传感器，节流阀口不变时通过自动调节溢流口（起定差作用）的溢流量来实现流量负反馈，从而稳定节流阀前后的压差以保持流量不变。与调速阀一样，在节流阀前后压差基本不变的情况下，调节节流阀口即可改变油液流量的大小。因溢流节流阀有 1 个进油口 P_1、1 个出油口 P_2 和 1 个溢流口 T 而又将其称为三通流量控制阀，通常将其用于对速度稳定性要求相对较高且功率较大的进油路节流调速系统中。工作时，液压泵供应的压力油 p_1 中一部分经节流阀进入执行元件（负载），另一部分则经溢流阀回流油箱。节流阀出口压力为 p_2，并与 p_1 分别作用于溢流阀阀芯的两端，同时与上端的弹簧力 $F_{指}$ 相平衡（节流阀口前后压差即为溢流阀阀芯两端的压差），进而使溢流阀阀芯处于某一平衡位置。当执行元件的负载增大时，溢流节流阀的出口压力 p_2 增

加导致作用于溢流阀阀芯上（左）端的液压力增大，溢流阀阀芯向下（右）移动，溢流口减小、溢流阻力增大，造成液压泵的出口压力 p_1（即作用于溢流阀阀芯下端的液压力）增大，进而使溢流阀阀芯两端的受力恢复平衡及节流阀口前后压差（p_1-p_2）基本保持不变，由此通过节流阀进入执行元件的流量可保持稳定（不受负载变化影响）。

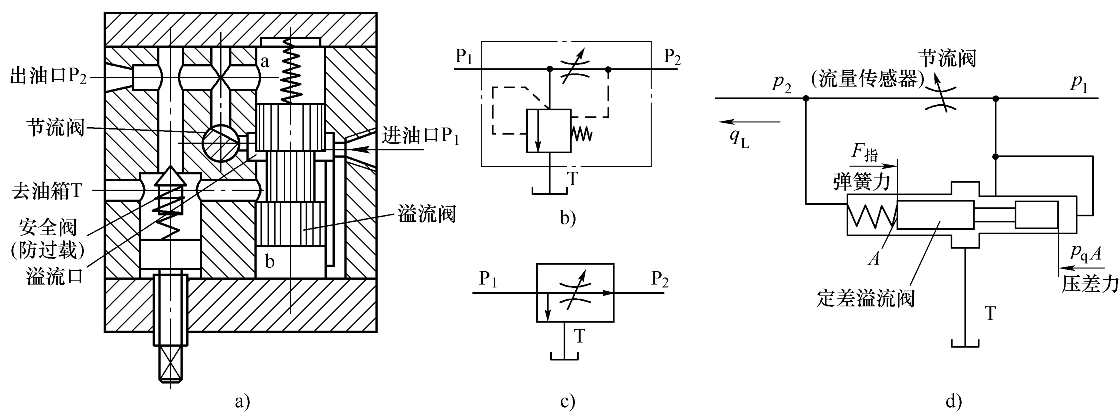


图 4-62　溢流节流阀

a）结构原理图　b）详细图形符号　c）简化图形符号　d）反馈原理图

（2）调速阀在 MJ－50 型卧式数控车床上回转刀架（见图 4-63）换刀方面的应用　MJ－50 型卧式数控车床配置了包含油箱、变量叶片泵、电磁换向阀和单杆双作用活塞缸等液压元件在内的液压系统（见图 4-64），以分别完成机床主轴侧液压卡盘的夹紧/松开、回转刀架的就近转位与刀盘的松开/锁紧及机床尾座顶尖套筒的伸出/退回。该机床回转刀架换刀的过程大致为：在 AUTO 或 MDA（FANUC 系统为 MDI）运行模式下由数控系统执行 T 代码换刀指令（如 T0105）→PLC（或 PMC）接收到数控系统传送的换刀指令后进行逻辑处理，并向机床侧输出中间继电器 KA6（其常开触点控制 YV6 线圈）的控制信号→二位四通型电磁换向阀 16 的线圈 YV6 得电使阀口 P_2 与 B_2 接通、A_2 与 T_2 接通→由变量叶片泵 3 经单向阀 4 向系统所供应的压力油（4MPa）自阀口 P_2 和 B_2 进入刀盘液压缸 17 的 F 腔后推动活塞向上（左）移动进而使刀架刀盘松开→同时刀盘液压缸 E 腔内油液经阀口 A_2 和 T_2 回流油箱→刀盘松开后刀盘锁紧确认检知开关 PRS6 关闭并延时 200ms→PLC 据 PRS6 反馈的刀盘松开完成信号进行就近选刀的逻辑处理并向机床侧输出中间继电器 KA4（其常开触点控制 YV4 线圈）或 KA5（其常开触点控制 YV5 线圈）的控制信号→三位四通型电磁换向阀 11 的线圈 YV4（以 YV4 作介绍）得电使阀口 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 T_1 接通→此时压力油（4MPa）经单向调速阀 12（由定差减压阀、节流阀和单向阀组合而成）的正向流量调节（P_a、P_b 分别为进油口和出油口）后进入双向定量泵液压马达 13 中，并使其通过平板共轭分度凸轮控制刀盘旋转至 T 代码要求的刀位→由刀号确认检知开关 PRS1～PRS4 的通断组合确认刀具所处的位置，并由奇偶校验开关 PRS5 确认奇偶数刀具→就近选刀完成后液压马达停转开关 PRS7 点亮→PLC 控制 KA4 线圈断电使 YV4 失电（电磁阀 11 的阀口 P_1、A_1、B_1、T_1 关闭）进而液压马达停止旋转→同时 PLC 控制 KA6 线圈断电使 YV6 失电（电磁阀 16 在弹簧的作用下处于常态位使其阀口 P_2 与 A_2 接通、B_2 与 T_2 接通）→此时压力油进入刀盘液压缸 17 的 E 腔后推动活塞向下（右）移动进而使刀架刀盘锁紧，并且 F 腔内油液经阀口 B_2 和 T_2 后回流油箱→刀盘锁紧后锁紧确认开关 PRS6 点亮并反馈至 PLC 中进行逻辑处理→PLC 向数控系统发出 T 代码就近选刀完成信号以进行后续程序段的执行。

（3）调速阀常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-26。

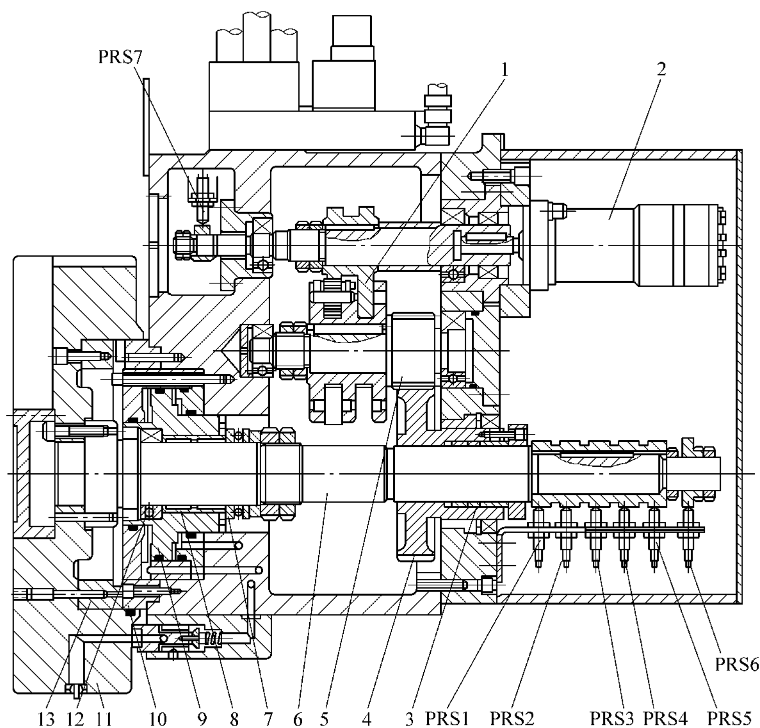


图 4-63　MJ－50 型卧式数控车床回转刀架的结构简图

1—平板共轭分度凸轮　2—双向定量液压马达　3—锥套　4、5—齿轮　6—刀盘轴
7、12—推力球轴承　8—双列滚针轴承　9—活塞　10、13—鼠牙盘　11—刀盘

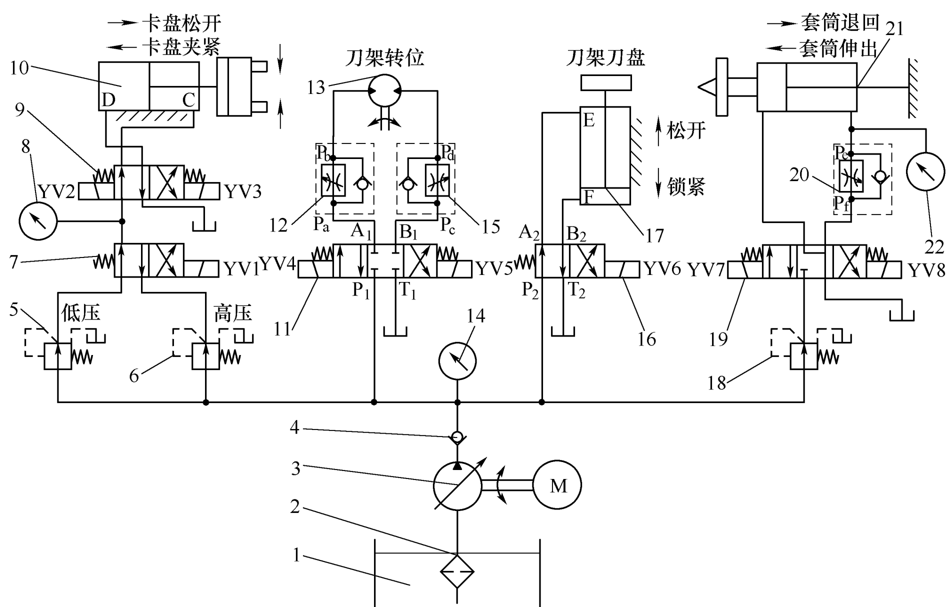


图 4-64　MJ－50 型卧式数控车床的液压原理图

1—油箱　2—吸油过滤器　3—变量叶片泵　4—单向阀　5、6、18—减压阀　7—电磁换向阀
8、14、22—压力表　9、16—二位四通型电磁换向阀　10、17、21—单杆双作用活塞缸
11、19—三位四通型电磁换向阀　12、15、20—单向调速阀（进油路节流调速）　13—双向定量液压马达

表 4-26　调速阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
压力补偿机构（减压阀）不动作（同一般节流阀）	1）减压阀芯被污物卡住	拆洗调速阀去除污物，对系统油液进行精过滤
	2）减压阀芯与阀体孔及节流阀芯与阀体孔间的配合缝隙因污物而堵塞	拆洗调速阀去除污物，对系统油液进行精过滤
	3）调速阀的进油口与出油口之间的压差过小	按所用调速阀要求调节进油口与出油口之间的压差
节流阀的调节手柄调节费力	1）调节杆被污物卡住或调节手柄的螺纹配合不好	拆洗调速阀去除污物；重新攻螺纹，理顺螺纹扣，必要时更换配件
	2）用于进油节流调速时，调速阀出口压力（一般为负载压力）过高	应卸压后再调节手柄
阀的节流作用失灵	1）定差减压阀阀芯卡死在全闭或小开度位置，使出油腔 P_2 无油或极少量油液通过节流阀	拆洗调速阀去除污物，阀芯有毛刺、轻微拉伤时抛光处理，拉伤严重时先用无心磨磨去 0.05～0.08mm，再电镀外圆后配磨或刷镀，亦可新制一件阀芯；研磨法修复与阀芯配合的阀套内拉伤
	2）调速阀进出油口接反（如 Q 型、QF 型调速阀因安装面的各孔对称易装错）使减压阀芯总趋于关闭不能节流	在板式调速阀底面上的各油口处标有 P_1 与 P_2 字样，装配时应仔细辨认，不可错装
	3）调速阀的进油口与出油口之间的压差过小	按所用调速阀要求调节进油口与出油口之间的压差
阀的流量不稳定	1）一般节流阀流量不稳定的故障原因及处理方法均适用于调速阀，除此之外还有如下几条：	
	2）定差减压阀活动不灵活，使其未起到压力反馈作用（节流阀前后压差不能成一定值）造成流量不稳定	拆开调速阀端部的螺塞，从阀套中抽出减压阀芯进行去毛刺清洗和精度检查，尤其注意减压阀芯的大端与小端是否同心，不良者予以修复或更换
	3）调速阀中减压阀芯与阀盖上压力反馈小孔堵塞，或因定差减压阀芯的大端与小端不同心、配合不好等，造成压力补偿不良而使节流阀芯进出口压差 Δp 变化，进而导致流量不稳定	用细钢丝（如 ϕ1mm）通一通阀套及阀芯上的反馈小孔，或用干燥清洁的压缩空气将其吹通
	4）漏装减压阀的弹簧或弹簧折断等	应补装或更换减压阀的弹簧
	5）调速阀的内外泄漏量大导致流量不稳定	同节流阀
	6）调速阀进出油口接反使其如同一般节流阀而无压力反馈补偿作用	在板式调速阀底面上的各油口处标有 P_1 与 P_2 字样，装配时应仔细辨认，不可错装
最小稳定流量不稳	节流阀芯和减压阀芯（阀芯大小端不能同心致其与阀套的配合间隙过大）处内泄漏量大影响最小稳定流量	将两级同心的蘑菇状减压阀芯改为两体式以避免同轴度误差引起装配间隙过大从而显著减少内泄漏量

7. 单向阀的实例应用与故障排除

（1）简介　单向阀属于方向控制阀，它可控制一定压力（开启压力）下的流体向一个方向流动（正向导通），而禁止反方向的流体通过此阀（反向截止），类似于电子元件中的晶体二极管。根据功能的不同，可将单向阀分为普通单向阀和液控单向阀 2 种主要类型。

1）普通单向阀（又称止回阀或逆止阀，见图 4-65）：普通单向阀主要由阀体、阀芯和刚度较小的弹簧等零件组成，具有正向导通（开启压力 0.03～0.05MPa）反向截止的功能。它既可安装在液压泵的出口处以保护液压泵正常工作（防止突然增高的系统压力反向传给液压泵而使其反转或损坏及防止液压泵停机时系统油液倒流回油箱），也可安装在回油路中用作背压阀（更换为刚度较大的弹簧使其开启压力达到 0.2～0.6MPa）以保持低压回路的压力从而提高执行元件的运动平稳性；既可用来隔开油路之间的联系以防止油路相互干扰，也可以旁通阀的形式与其他类型的液压控制阀并联而构成组合阀（如单向调速阀和单向节流阀）。按进出口流道的布置形式，普通单向阀可分为直角式和直通式 2 种结构，其中直角式单向阀的进出口流道成直角布置，直通式单向阀的进、出口流道则在同一轴线上；按阀芯的结构型式，普通单向阀又可分为球阀芯和锥阀芯 2 种，其中前者因结构简单、密封易失效及工作时有振动和噪声等而多用于流量较小的场合，后者则因导向性和密封性较好及反向泄漏较小等而多用于流量较大且要求工作平稳的场合。普通单向阀工作时，具有一定压力（开启压力）的液流自进油口 P_1 正向流入，并克服弹簧作用于阀芯上的力而将阀芯顶开，使液流通过打开的阀口正向流向出油口 P_2。液流自出油口 P_2 反向流入时，阀芯在液压力和弹簧力的作用下被压紧在阀座（体）上使阀口关闭，液流无法反向流向进油口 P_1。

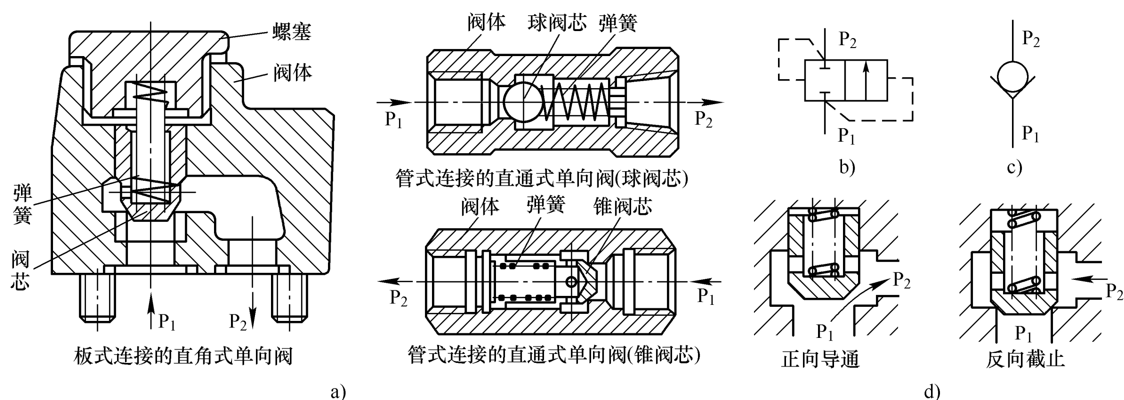


图 4-65　普通单向阀的典型结构图及工作原理图

a）典型结构图　b）详细图形符号　c）简化图形符号　d）工作原理图

2）液控单向阀（见图 4-66）：液控单向阀是一种在控制口通入压力油后可允许流体双向流动的单向阀，主要由阀体、阀座、阀芯、控制活塞和刚度较小的弹簧等零件组成。它既可用做二通型开关阀，也可用作保压阀，还可由 2 个液控单向阀组成“液压锁”（又称双向液控单向阀）用于执行元件的反向锁紧。按是否带有卸荷阀芯，可将其分为无卸荷阀芯的简式液控单向阀和带卸荷阀芯的卸载式液控单向阀 2 种结构；按其控制活塞处的泄油方式不同，这 2 种结构的液控单向阀又有内泄型（控制活塞的背压腔与进油口 P_1 连通）和外泄型（控制活塞的背压腔直接通油箱以减小反向开启时 P_1 要腔内压力对控制压力 p_K 的影响）之分，其中前者多用于反向出油口压力 p_1 较低的液压系统中，后者则用于高压型液压系统中。在图 4-66f 所示的工作原理图中，控制口 K 未通入压力油（$p_K=0$）时，其功能与普通单向阀相同，系统油液仅可从进油口 P_1 正向流至出油口 P_2，而不能由 $P_2 \rightarrow P_1$ 进行反向倒流；当控制口 K 通入压力油（p_{Kmin} 约为主油路压力的

30%左右）时，控制活塞在 p_K 作用下向上移动，并通过顶杆顶开阀芯实现液控单向阀的反向开启，此时油液可从 P_2 口反向流至 P_1 口。在卸载式液控单向阀中，上移的控制活塞先顶开卸荷阀芯使 P_2 腔内压力降低（卸压），随着控制活塞的继续上移而顶开主阀芯时，大量的液流就会自 P_2 反向流至 P_1。如此，不但大大减小了控制压力 p_K，使 p_K 与工作压力之比降低至 4.5%，还可避免简式液控单向阀中当控制活塞顶开阀芯时因高压封闭回路内油液压力的突然释放而产生的巨大冲击和噪声。

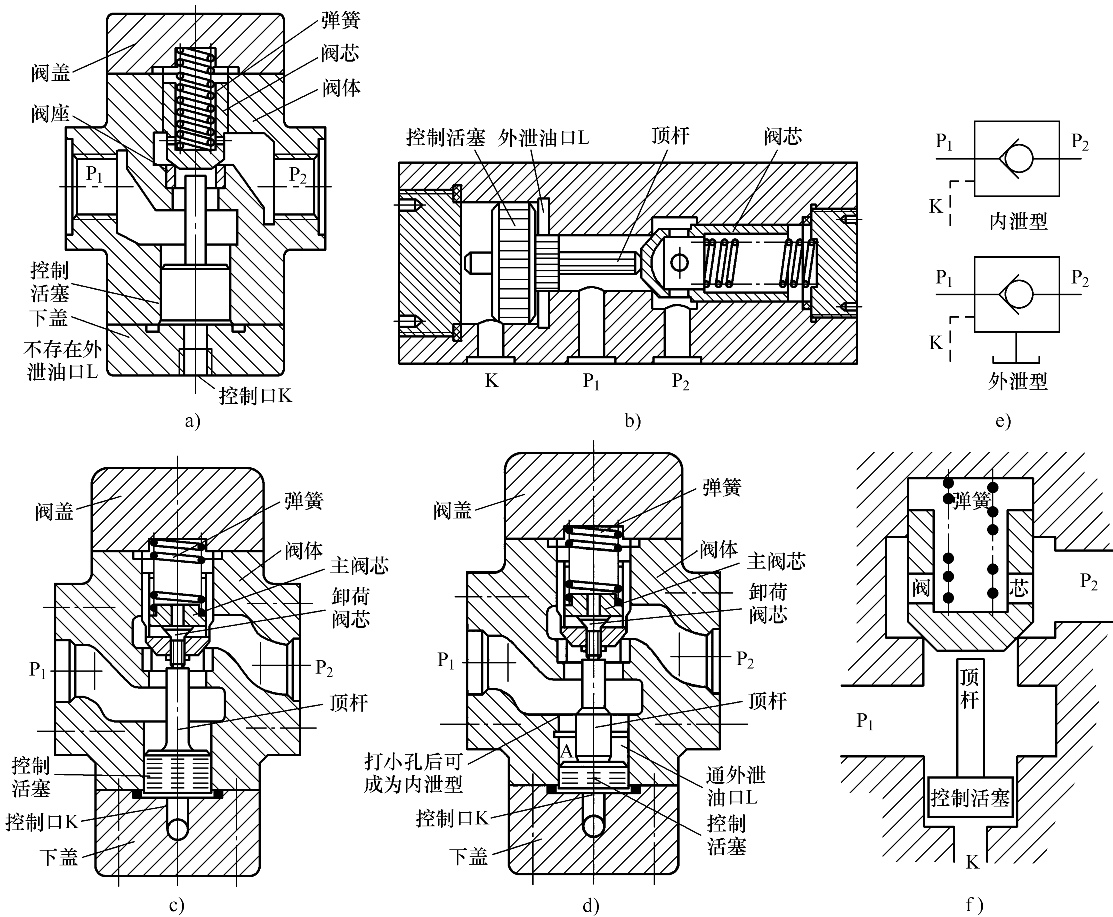


图 4-66　液控单向阀的结构图及工作原理图

a）无卸荷阀芯的简式内泄型液控单向阀　b）无卸荷阀芯的简式外泄型液控单向阀

c）带卸荷阀芯的卸载式内泄型液控单向阀　d）带卸荷阀芯的卸载式外泄型液控单向阀　e）图形符号　f）工作原理图

（2）普通单向阀和液控单向阀的典型应用　如图 4-67 所示。

1）用普通单向阀将系统和液压泵隔断（见图 4-67a）：液压泵工作时所排出的压力通过普通单向阀 1 进入液压系统中，此时普通单向阀 1 可防止突然增高的系统压力反向传给液压泵而使液压泵反转或损坏；当液压泵停止工作时，普通单向阀 1 可阻止系统油液倒流回油箱。普通单向阀 2 和 3 用于隔开两条支路间的联系，以防止油路相互干扰。

2）用普通单向阀将 2 个液压泵隔断（见图 4-67b）：在低压时两个液压泵排出的压力油合在一起，共同向系统供油；在高压时因普通单向阀 5 的右侧压力大于左侧压力而使其呈关闭状态以将 2 个压力不同的液压泵隔断，如此液压泵 8 排出的高压油经虚线表示的控制油路流向外控内泄型顺序阀 4 并将其打开，进而使低压泵 7 排出的油液经阀 4 回流油箱，此时仅由高压泵 8 单独往

系统供油（压力决定于直动式溢流阀 6）。

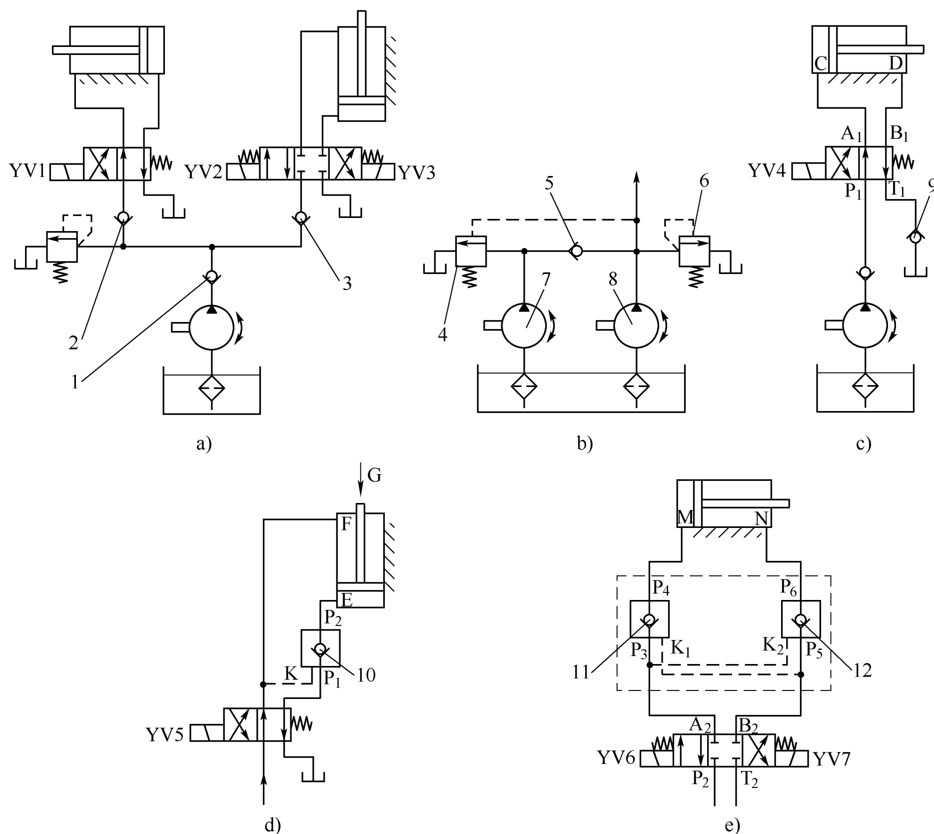


图 4-67　普通单向阀和液控单向阀的典型应用

a）用普通单向阀将系统与液压泵隔断　b）用普通单向阀将 2 个液压泵隔断　c）用普通单向阀产生背压

d）用液控单向阀使立式液压缸的活塞悬浮　e）用 2 个液控单向阀使液压缸双向闭锁

1、2、3、5、9—普通单向阀　4—外控内泄型顺序阀（卸荷阀）　6—直动式溢流阀

7—低压大流量泵（定量泵）　8—高压小流量泵（定量泵）　10、11、12—液控单向阀

3）用普通单向阀产生背压（见图 4-67c）：当高压油通过二位四通型电磁换向阀（线圈 YV4 不得电使阀口在弹簧的作用下处于常态位而将 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 T_1 接通）进入双作用活塞缸的无杆腔 C 时，单杆活塞会向右移动而伸出。伴随着单杆活塞的右移，有杆腔 D 中的低压油经普通单向阀 9 后回流油箱。因回油路中普通单向阀 9 的弹簧刚度较大（被更换），需要 0.2 ~ 0.6MPa 的开启压力方能打开，如此该阀可使活塞缸的有杆腔内总是保持一定的压力（即背压），以防止单杆活塞的冲击及提高执行元件的运动平稳性。

4）用液控单向阀使立式液压缸的活塞悬浮（见图 4-67d）：系统通过液控单向阀 10（$P_1 \to P_2$）向立式液压缸的 E 腔供油时，单杆活塞会向上移动而伸出。当系统停止供油时，因液控单向阀的控制口 K 未通入压力油（$p_K = 0$）而处于反向截止状态（$P_2 \to P_1$），单杆活塞不能靠其自重向下移动而悬浮于某一位置。一旦液控单向阀的控制口 K 通入压力油 p_K 而使 $P_2 \to P_1$ 反向导通时，单杆活塞就会靠其自重向下移动。

5）用 2 个液控单向阀使液压缸双向闭锁（见图 4-67e）：液压泵向系统供应的油液通过三位四通型电磁换向阀的 A_2 口向液控单向阀 12 的控制口 K_2 提供控制压力时，液控单向阀 12 会反向导通（$P_6 \to P_5$），此时高压油会经液控单向阀 11 正向流入双作用活塞缸的 M 腔而推动单杆活塞

向右侧伸出，并且缸内N腔的低压油经液控单向阀12反向流出。当油液通过B_2口向液控单向阀11的控制口K_1提供控制压力时，液控单向阀11会反向导通（$P_4 \rightarrow P_3$），此时高压油会经液控单向阀12正向流入N腔而推动单杆活塞向左退回，同时M腔内的低压油经液控单向阀11反向流出。当换向阀处于常态位使阀口A_2和B_2关闭无油液流出时，因2个液控单向阀的控制口K_1和K_2均无控制压力（$p_K=0$）而使其处于反向截止状态，从而实现液压缸的双向闭锁控制（锁紧液压缸最可靠的方法）。

（3）普通单向阀和液控单向阀常见故障的可能原因及处理方法　见表4-27和表4-28。

表4-27　普通单向阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
内泄漏严重	1）直通式单向阀中阀体上无阀座而由阀体兼作阀座，当阀体上与阀芯配合的锥面A拉毛或有损伤、沟槽及锥面A与阀体上用于阀芯导向的孔不同心时会使内泄漏严重	用研磨棒研磨或可调金刚石铰刀铰削有毛刺或损伤的阀体孔，阀体孔沟槽严重时刷镀或电镀内孔后再铰研，必要时更换新阀芯；轻微不同心时可为阀芯配做1个导向套后再与锥面A配合，以将锥面A与阀体上用于阀芯导向的孔的偏心量修正过来
	2）当锥阀芯上的锥面B（关闭阀口）因长时间使用而产生凹坑磨损（圆周）或直槽式拉伤痕迹及锥面B与阀芯后端的导向轴不同心时会使内泄漏严重	锥面B轻微磨损时可抛光再用，磨损拉伤严重时先将锥面B磨去一部分再电镀并与阀孔配磨；校正阀芯的导向轴并重磨前端的锥面B以使两者同心；必要时更换合格的锥阀芯
	3）球阀芯单向阀中阀体上与球阀芯配合的锥面A不是机加工获取的而是将球阀芯（或钢球）装入后用锤子敲击打出的，若阀体材质或金相组织不好及敲击时用力大小未掌握好则会出现崩裂小块，使锥面A尖角处呈锯齿状圆圈而不能密合，进而导致内泄漏严重	可将与球阀芯配合的阀孔直径加大后再镶入一铸铁套或铜套，然后敲击打出锥面A；必要时直接更换新阀套或单向阀
	4）装配时因清洗不干净或使用中油液脏而使污物滞留或粘在阀芯与锥面A间，造成锥面A不能与阀芯密合	拆洗单向阀去除污物，对系统油液进行精过滤
	5）钢球式阀芯的单向阀在拆修后重新装配时钢球错位，使阀口不能密合导致内泄漏严重	重新更换新钢球
不起单向阀作用（即油液可反向导通）	1）除上述内泄漏严重的原因外，还有如下几条：	
	2）单向阀阀芯因棱边及阀体沉割槽棱边上的毛刺未清除干净而使阀芯卡死在打开位置上	抛光处理阀芯上的毛刺，研磨棒研磨修复阀体沉割槽棱边毛刺
	3）阀芯与阀体孔的配合间隙过小、油温升高引起变形或阀安装时压紧螺钉紧固力矩过大使阀孔变形等，造成阀芯卡死在打开位置上	配研阀芯以保证其与阀体孔间的合理配合间隙，消除因油温和紧固力矩过大造成的阀芯卡死现象
	4）污物进入阀孔与阀芯的配合间隙内而卡死阀芯	拆洗单向阀去除污物，对系统油液进行精过滤
	5）漏装弹簧或弹簧折断	应补装或更换单向阀的弹簧
外泄漏	1）管式单向阀的螺纹连接处因螺纹配合不好或螺纹接头未拧紧而存在外泄漏	拧紧接头，并在螺纹之间缠绕四氟乙烯密封或用O形圈密封
	2）板式单向阀的安装面及螺纹堵头处存在外泄漏	检查安装面或螺纹堵头处O形圈密封是否可靠并据情况予以排除
	3）阀体有气孔砂眼而被压力油击穿造成外泄漏	补焊或更换阀体

表 4-28 液控单向阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
液控失灵（虽有压力油 p_K 作用于控制活塞上，但不能实现油液的正、反向流通）	1）检查控制活塞是否因毛刺或污物卡死在阀体孔内，此时控制活塞不能推开单向阀而造成液控失灵	拆洗液控单向阀去除污物，对系统油液进行精过滤；抛光去除控制活塞上的毛刺或重新研配控制活塞
	2）对外泄型液控单向阀，应检查泄油孔是否因污物阻塞或安装板上不存在泄油口以及泄油口处的背压过高，造成压力油 p_K 推不动控制活塞而打不开单向阀	拆洗液控单向阀去除污物，对系统油液进行精过滤；更换带有泄油口的安装板；降低泄油口处的背压值
	3）压力油 p_K 太低，推不动控制活塞而打不开单向阀	IY 型液控单向阀的 p_K 为主油路压力的 30% ~40% 且 $p_{Kmin} \geq 1.8$MPa，DFY 型液控单向阀的 p_K 为额定工作压力的 60% 以上，等等
	4）控制活塞因磨损而泄漏量大使控制压力 p_K 泄向泄油口而不足，或者控制活塞歪斜别劲而不能灵活移动	重新配制控制活塞，消除泄漏和别劲问题
振动和冲击大，略有噪声	1）油液中的空气进入液控单向阀内而产生振动和冲击	采取合理措施防止空气混入油液中（参见表 4-13）
	2）在使用工作油液作为控制压力 p_K 的回路中，液控单向阀的 p_K 过高而产生冲击振动	在控制油路上增加减压阀进行调节处理
$p_K=0$ 单向阀打开油正、反流通	1）可参照普通单向阀的表 4-27 中“不起单向阀作用”的内容，进行原因查找和处理	
	2）控制活塞卡死在顶开单向阀阀芯的位置上而造成 $p_K=0$ 时油液正、反流通	拆开液控单向阀的控制活塞部分，查看是否卡死及推杆过长
内泄漏大	1）可参照普通单向阀的表 4-27 中“内泄漏严重”的内容，进行原因查找和处理	
	2）液控单向阀的控制活塞处因磨损而存在内泄漏	重新配制控制活塞，消除泄漏问题
外泄漏	螺纹堵头处和进出油口及阀盖等结合处出现外泄漏	通过加强密封措施（增大紧固力矩、更换新密封圈等）排除外泄漏

8. 换向阀的实例应用与故障排除

（1）换向阀简介　换向阀是借助于阀芯与阀体之间的相对移动，来使与阀体相连的各油路实现接通、断开或改变液流方向的液压控制阀。因其具有液流通过换向阀时的压力损失小（一般小于 0.1 ~0.3MPa）和互不相通的油口间泄漏量小以及换向可靠、迅速且平稳无冲击的性能特点，而被广泛应用于机床、工程机械、塑料纺织机械和起重运输机械等领域。根据阀的结构型式、操纵方式、工作位置数和控制的通道数的不同，可将换向阀分为各种不同的类型，如按阀的结构型式有滑阀式、转阀式、球阀式和锥阀式，按阀的操纵方式有手动式（利用手操纵杆改变阀芯位置，见图 4-68）、机动式或行程式（借助于挡铁或凸轮迫使阀芯移动，见图 4-69）、电磁式（在机床上应用非常广泛，本节重点讲述）、液动式（利用控制压力油改变阀芯位置，见图 4-70）、电液动式（由起先导作用的电磁换向阀和作为主阀的液动换向阀组合而成，前者用于控制液动换向阀的动作及改变液动换向阀的工作位置，后者用于控制执行元件，见图 4-71）等，按阀的工作位置数和控制的通道数有二位二通阀、二位三通阀、二位四通阀、三位四通阀和三位五通阀等。

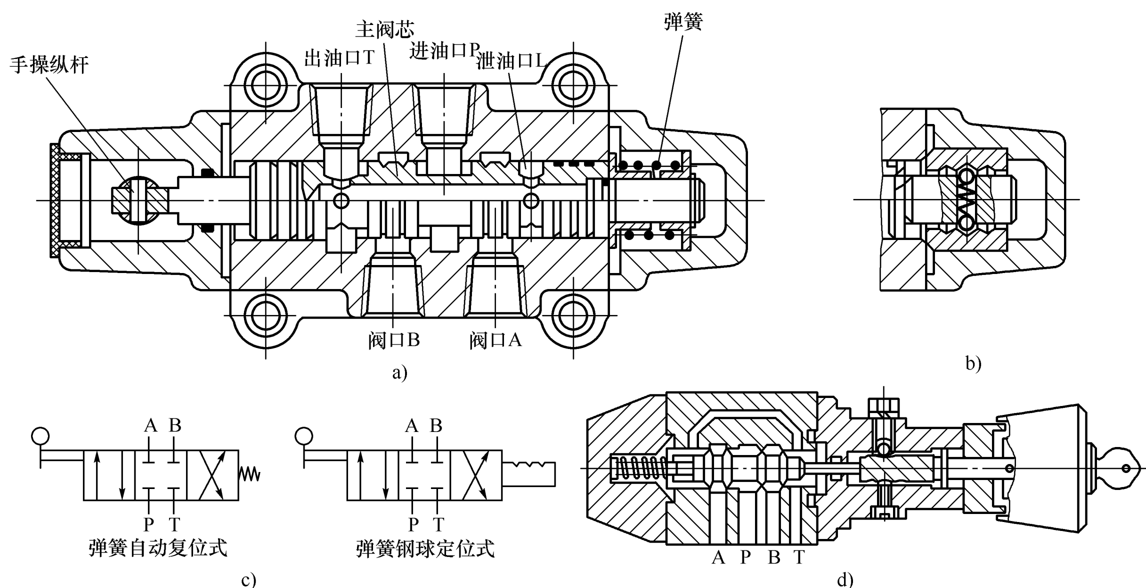


图4-68　三位四通型手动换向阀的结构简图及图形符号

a）弹簧自动复位式手动换向阀　b）弹簧钢球定位式手动换向阀　c）图形符号　d）旋转移动式手动换向阀

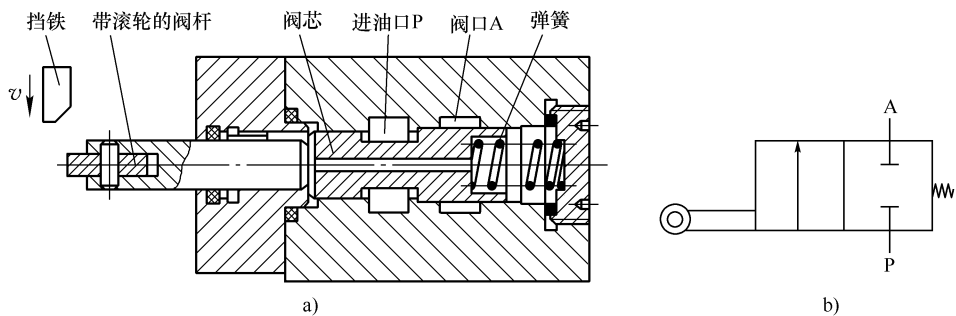


图4-69　二位二通型机动换向阀的结构简图及图形符号

a）二位二通型机动换向阀结构简图　b）图形符号

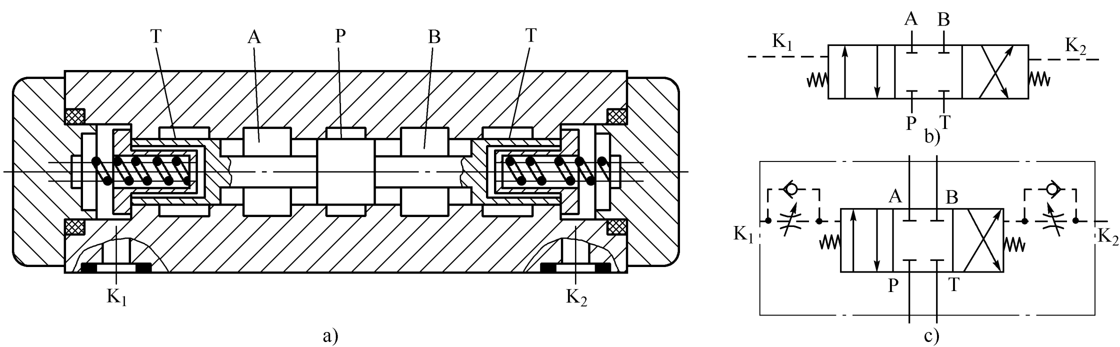


图4-70　弹簧对中式三位四通型液动换向阀的结构简图及图形符号

a）弹簧对中式三位四通型液动换向阀　b）图形符号　c）控制油路加装阻尼调节器

1）换向阀的“通”和“位”：“通”和“位”是换向阀的重要概念，不同的“通”和“位”（即阀芯位置）会构成不同类型的换向阀。通常所说的“二位阀”和“三位阀”是指换向阀的

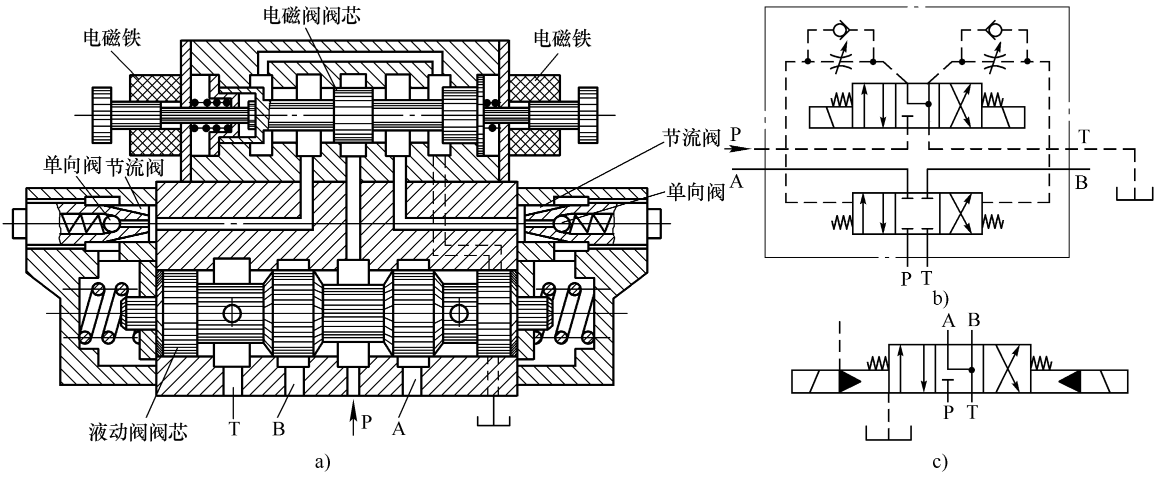


图 4-71 弹簧对中式三位四通型电液换向阀（外控外泄）的结构简图及图形符号

a）结构简图 b）详细图形符号 c）简化图形符号

阀芯有 2 个或 3 个不同的工作位置；而“二通阀”、“三通阀”和“四通阀”是指换向阀的阀体上有 2 个、3 个、4 个各不相通且可与系统中不同油管相连的油道接口，不同油道之间只能通过阀芯移位时阀口的开关来沟通。几种不同“通”和“位”的滑阀式换向阀主体部分的结构型式和图形符号，见表 4-29。

表 4-29 不同“通”和“位”的滑阀式换向阀主体部分的结构型式和图形符号

名称	结构原理图	图形符号	名称	结构原理图	图形符号
二位二通	A B	A P	二位五通	T_1 A P B T_2	A B T_1 P T_2
二位三通	A P B	A B P	三位四通	A P B T	A B P T
二位四通	B P A T	A B P T	三位五通	T_1 A P B T_2	A B T_1 P T_2
图形符号说明	① 方框表示阀的工作位置，有几个方框就表示有几“位” ② 方框内的箭头表示油路处于接通状态，但箭头方向不一定表示液流的实际方向 ③ 方框内符号“⊥”或“⊤”表示该通路不通 ④ 方框外部连接的接口数有几个，就表示几“通” ⑤ 一般，阀与系统供油路连接的进油口用字母 P 表示，阀与系统回油路连通的回油口用 T（有时用 O）表示，阀与执行元件连接的油口用 A 和 B 等表示，有时在图形符号上用 L 表示泄漏油口 ⑥ 换向阀均有 2 个或 2 个以上的工作位置，其中 1 个为常态位即阀芯未受到操纵力时所处的位置（三位阀的常态位为图形符号中的中位，弹簧复位式二位阀的常态位为靠近弹簧侧方框内的通路状态），且绘制液压原理图时管路一般接在常态位				

2）换向阀的滑阀机能：指滑阀式换向阀处于中间位置（中位）或原始位置时阀中各油口的

连通方式，对二位阀和多位阀的机能是指阀芯处于原始位置时阀各油口的通断情况，三位阀的机能是指阀芯处于中位时阀各油口的通断情况。

① 二位二通型换向阀上2个油口间的状态仅有两种——通或断（见图4-72a），其中自动复位式（如弹簧复位）二位二通型换向阀的滑阀机能有常闭式（O型）和常开式（H型）两种（见图4-72b）。

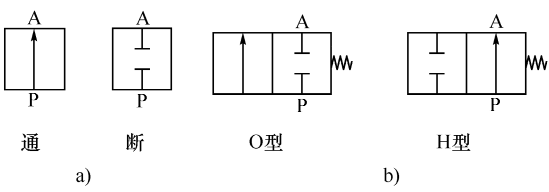


图4-72 二位二通型换向阀的滑阀机能
a）油口状态 b）滑阀机能

② 三位四通型换向阀的滑阀机能有很多种，常见的滑阀机能见表4-30。

③ 对不同机能的滑阀式换向阀而言，其阀体是通用件，而区别在于阀芯台肩结构和轴向尺寸及阀芯上径向通孔的个数。

表4-30 三位四通型换向阀的滑阀机能

机能型式	O型	H型	M型	过渡机能1
图形符号	A B P T	A B P T	A B P T	A B P T
中位油口状况、特点及应用	P、A、B、T四油口均被封闭；液压缸闭锁且活塞可停在任一位置，泵不卸荷需经溢流阀回油箱，可用于多个换向阀并联工作	P、A、B、T四油口全通；活塞浮动而不能停住，在外力作用下可移动，泵可卸荷而不能用于多个换向阀并联工作	P、T口相通，A、B口封闭；活塞闭锁不动而停在任一位置，泵可卸荷，多个M型换向阀可并联工作，兼有O型机能和H型机能的特点	在控制液动式（或电液动式）换向阀各油口的通断关系自一个工位过渡至另一工位前，利用2个过渡位置先使阀口T与A（或B）连通。电磁换向阀中无过渡机能（因过渡机能会加长阀芯的行程而影响阀的动作可靠性）
机能型式	X型	P型	J型	过渡机能2
图形符号	A B P T	A B P T	A B P T	A B P T
中位油口状况、特点及应用	P、A、B、T四油口处于半开启状态，泵基本上卸荷但仍保持一定压力	P、A、B口相通，T封闭；泵与液压缸两内腔相通可组成差动回路	P、A封闭，B、T相通；活塞停止，外作用下单侧移动，泵不卸荷	控制换向阀各油口的通断关系自一个工位过渡至另一工位前，利用2个过渡位置先将阀口P与A（或B）连通
机能型式	Y型	K型	C型	U型
图形符号	A B P T	A B P T	A B P T	A B P T
中位油口状况、特点及应用	P封闭，A、B、T三口相通；活塞浮动，外力作用下移动，泵不卸荷	P、A、T三口相通，B口封闭；活塞闭锁，泵可卸荷	P、A相通，B、T封闭；活塞处于停止位置	P、T封闭，A、B相通；活塞浮动，外力作用下可移动，泵不卸荷
说明	中间1个方框表示其原始位置，左右方框表示2个换向位，左位和右位各油口的连通方式均为直通或交叉相通，因而仅用1个字母来表示中位的型式（即机能型式）。另外，滑阀的过渡机能画在各工位通路符号之间，并用虚线与之隔开			

（2）电磁换向阀的工作原理与典型结构 电磁换向阀（简称电磁阀）是机床电气部分与液

压系统之间的连接媒介，它可借助于按钮开关、行程开关、限位开关和压力继电器等电气元件发出电信号，使电磁铁动作（通电吸合或断电释放）后推动阀芯移动改变液流的方向，进而使执行元件（负载）做正向/反向运动或用于沟通或切断某油路使液压系统卸荷/升压等。

1）电磁阀的工作原理：依据允许的最高工作压力、允许通过的公称流量、阀芯移动换向的工作位置、所控制的油口通数、中位滑阀机能、阀芯换向与复位的形式、所配电磁铁的结构型式等分类方法，国内外的电磁阀有很多品种和规格；但究其工作原理是基本相同的，现以图 4-73 所示的三位四通 O 型滑阀机能的电磁阀为例进行说明。在图 4-73 中，阀体 1 内有三个环形沉割槽（中间为进油腔 P，与 P 相邻的是工作油腔 A 和 B），两端有两个互相连通的回油腔 T。阀芯 2 的两端分别装有弹簧座 3、复位弹簧 4 和推杆 5，阀体 1 的两端各装有一个电磁铁。

① 当两端电磁铁均断电时阀芯处于中间位置（中位），P、A、B、T 各油腔互不相通。

② 当左侧电磁铁通电时其磁铁吸合并通过推杆推动阀芯向右移动，使 P 与 B 连通、A 与 T 连通；左侧电磁铁断电后其衔铁释放，阀芯在右复位弹簧的作用下回至中间位置，恢复为先前 P、A、B、T 四个油腔均封闭的状态。

③ 当右侧电磁铁通电时其衔铁吸合并通过推杆推动阀芯向左移动，使 P 与 A 连通、B 与 T 连通；右侧电磁铁断电后其衔铁释放，阀芯在左复位弹簧的作用下回至中间位置。

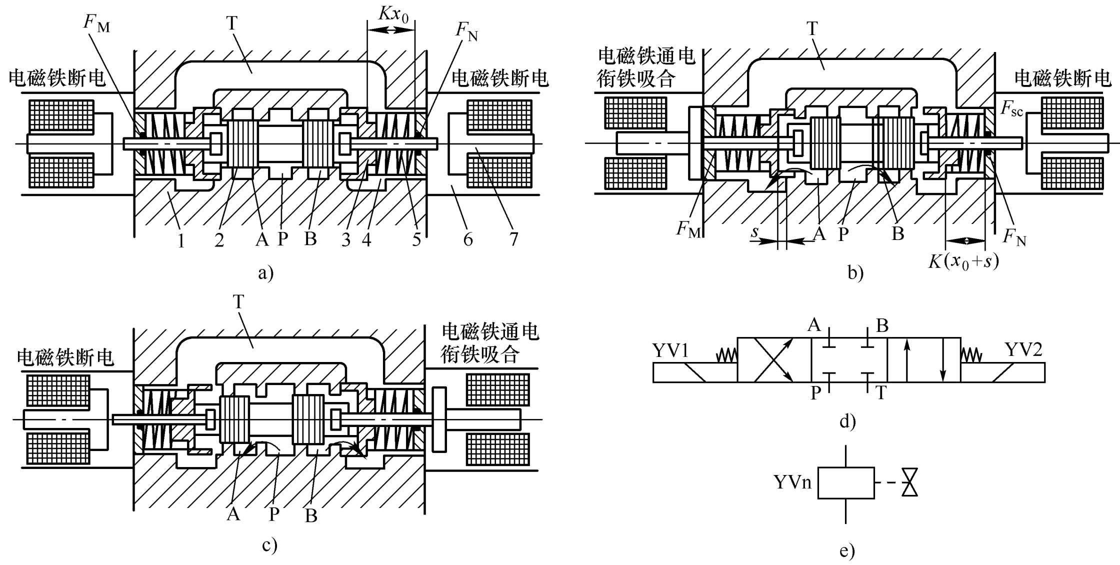


图 4-73 三位四通电磁阀（O 型滑阀机能）的工作原理图

a）左右电磁铁断电阀芯复中位 b）左侧电磁铁通电 c）右侧电磁铁通电 d）液压图形符号 e）电气图形符号

1—阀体 2—阀芯 3—弹簧座 4—复位弹簧 5—推杆 6—铁芯 7—衔铁

2）电磁阀上所装电磁铁的型式及特点，见表 4-31。

表 4-31 电磁阀上电磁铁的型式及特点

分类依据	电磁铁的型式	特点
所用电源不同	交流电磁铁	一般使用 AC220V 电压，无需专用电源使电气线路配置简单，启动力较大，吸合与释放的反应速度较快，动作时间为 0.01 ~ 0.03s，允许的切换频率一般为 10 次/min 且≤30 次/min。在交流电压下降 15% 以上时，电磁铁的吸力会明显减小，一旦衔铁不动作则干式电磁铁将在 10 ~ 15min（湿式电磁铁为 1 ~ 1.5h）后烧坏线圈，且换向冲击和噪声较大，寿命较低

（续）

分类依据	电磁铁的型式	特　　点
所用电源不同	直流电磁铁	一般使用 DC24V 电压，在工作或过载情况下电流基本不变使其不会因铁芯卡住而烧坏线圈，工作可靠、使用寿命较长，换向冲击和噪声较小，允许的切换频率高达 120 次/min 甚至 300 次/min。因需配置专用直流电源而增加了制造成本，启动力比交流电磁铁小，吸合与释放的反应速度比交流电磁铁的慢，动作时间约为 0.05～0.08s
	本整型电磁铁	为交流本机整流型，此种电磁铁的本身带有半波整流器，可在直接使用交流电源的同时，具有直流电磁铁的结构和特性
衔铁工作腔内是否含有油液	干式电磁铁	线圈、铁芯与扼铁均处于空气中而不接触油液，与液压阀连接时推杆外周需装密封圈，电磁铁故障时可通过自身附有的手动推杆使阀芯手动换位；回油可能会渗入阀的对中弹簧腔内，故阀的回油压力不能太高；多用于简单液压系统中
	油浸式电磁铁	线圈和铁芯均浸没在无压的油液中，推杆和衔铁的端部均装密封圈；油液可帮助线圈散热并改善推杆的润滑条件，故寿命远比干式电磁铁长；多处密封使其灵敏性较差、造价较高
	湿式或耐压式电磁铁	与油浸式电磁铁不同的地方是推杆处无密封圈；其线圈和衔铁均浸没在有压的油液中，因而散热好、摩擦小；油液的阻尼作用会减小切换时的冲击和噪声。它是目前应用最广的一种电磁铁

3）电磁阀的典型结构：

① 在图 4-74 所示的交流式二位三通型电磁换向阀中，当电磁铁不通电时，阀芯 2 在右端弹簧 3 的作用下被推向左端而处于常态位（靠近弹簧侧），使油口 P 与 A 接通而 B 关闭；当电磁铁通电时，铁芯在电磁吸力的作用下通过推杆 9 将阀芯 2 推向右端，使阀左位工作，P 与 B 接通而 A 关闭。

② 对于图 4-75 所示直流湿式三位四通型电磁换向阀的动作过程，同上述图 4-73 的介绍。

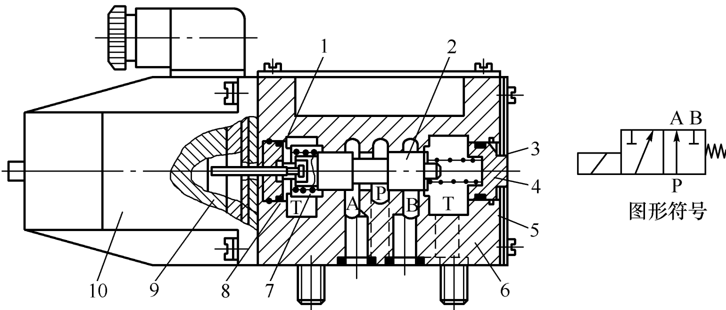


图 4-74　交流式二位三通型电磁换向阀

1—O 形圈　2—阀芯　3、7—弹簧　4、8—弹簧座　5—后盖　6—阀体　9—推杆　10—电磁铁

（3）电磁换向阀在数控机床上的应用　因在第 4.1.1 节“液压动力元件及故障”和第 4.1.4 节“液压控制元件及故障”中已陆续对各类型电磁换向阀的动作过程进行了介绍，如二位三通型电磁换向阀和二位四通型电磁换向阀在 MKS1632A×750 型数控端面外圆磨床上用来实现 Marposs E9 在线测量仪的前进/后退和机床尾座顶尖套筒的伸出/退回（见图 4-8）的控制，二位四通型电磁换向阀和三位四通型电磁换向阀在 MK1350×3000 型数控外圆磨床上用来实现工件对刀、机床尾座进/退和摇臂进/退的控制（见图 4-43）等，故不再赘述。

（4）电磁换向阀常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-32。

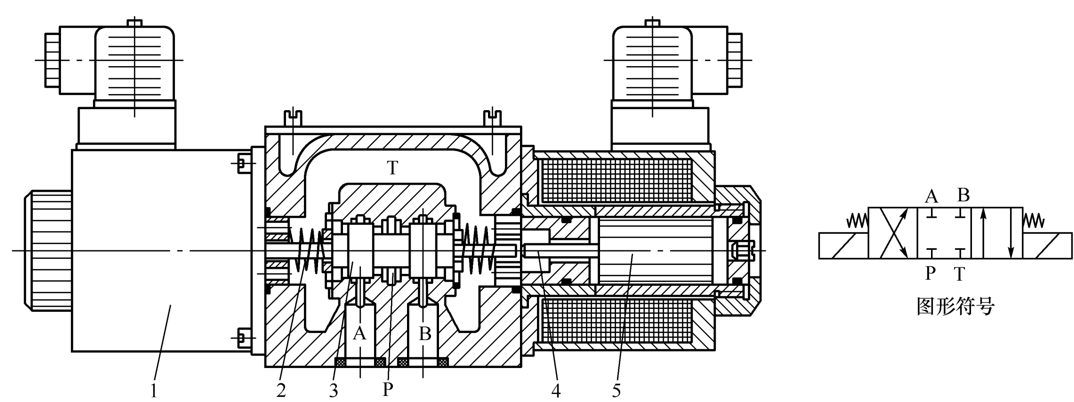


图 4-75 直流湿式三位四通型电磁换向阀
1—电磁铁 2—复位弹簧 3—阀芯 4—推杆 5—衔铁

表 4-32 电磁换向阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
阀电磁铁（交流）线圈烧毁致液压系统没有动作	1）电磁铁线圈的漆包线未使用规定的绝缘漆，因绝缘不良使线圈烧毁	通常电磁铁线圈的绝缘等级需在 E 级以上
	2）绝缘漆剥落或线圈碰伤及线圈引出线的塑料包皮老化而造成漏电短路；或电磁铁其他方面的加工质量不良造成线圈烧毁	此时应更换电磁铁或按照线圈漆包线的线径与匝数重新缠绕线圈
	3）电源设计（优先选用 AC220V 或 DC24V）或使用出错而造成线圈烧毁，如交直流电源相混、超过许用电压的变动范围（通常交流电压波动为 +10% 与 -15%，而直流电压波动为 ±10% 之间）及在过电压情况下长期使用、电路中三位阀的两个电磁铁线圈同时接通以及直流电磁阀的电源整流装置失效等	电路设计或安装排线接线时应确保正确接线（线号）
		电磁铁线圈电压应为线圈额定电压的 85% ~105%
		电网电压不稳定时应为电路增加稳压电源
		对照电磁铁铭牌上的电压将其接入实际电路中并确认电源的交流或直流
	4）阳光直射，油温室温过高或通风不良等使温度过高致线圈老化	通常电磁铁周围介质温度不高于 +50℃不低于 -30℃
	5）环境水蒸气、水珠、腐蚀性气体渗入电磁铁内以及其他破坏绝缘的气体、导电尘埃等浸入电磁铁内，造成线圈受潮、生锈、受损而烧坏	环境恶劣及相对湿度大时应使用湿式电磁铁（相对湿度要求≤95%，而干式电磁铁的相对湿度要求≤85%）
	6）工作油液选择不当、黏度过高，黏性阻力大，超过电磁铁的负载范围产生过载而烧毁线圈	通常电磁阀的油液黏度范围为 15 ~400CSt
	7）电磁铁换向频率过快而烧坏电磁铁	交流电磁铁切换频率一般为 10 次/min 且≤30 次/min，直流电磁铁切换频率高达 120 次/min 甚至 300 次/min
	8）液压回路设计出错（如回路背压过高、长时间在超过许用背压值的工况下使用、安装板上无泄油通道 L，或泄油通道 L 堵塞造成泄油受困压力增高等），使电磁铁推不动阀芯而过载，最终烧毁线圈	回油路中起背压作用的普通单向阀内弹簧刚度过大使单向阀的开启压力过高，此时应更换刚度小的弹簧；更换带有泄油通道 L 的安装板并疏通该通道

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
阀电磁铁（交流）线圈烧毁致液压系统没有动作	9）电磁阀的加工精度不好，阀芯阀孔有毛刺、锥度而造成阀芯卡紧，电磁铁强行推动阀芯，最终烧毁线圈	用精油石抛光阀芯以去除毛刺或修磨阀芯外圆以去除锥度，用可调研磨棒研磨阀孔以去除毛刺
	10）电磁阀装配清洗不干净；阀芯与阀体间配合间隙过小而阀的安装螺钉压得过紧，导致阀体孔变形，增大了阀芯滑动副运动方向上的摩擦力；油液含夹杂物使阀芯卡死；均会使电磁铁过载而烧坏	拆卸电磁阀后用干净清洗油清洗零件，系统油液进行精过滤，重新选配阀芯使其与阀体孔的配合间隙在规定值内（如0.01～0.02mm）并适当紧固安装螺钉
	11）复位弹簧刚性过大、装错而导致弹簧力大于电磁铁的吸力使电磁铁长时间硬顶过载而烧毁线圈	更换刚性合适的复位弹簧并正确安装
	12）电磁铁装在阀体上“别劲”使吸力方向与阀芯移动方向不一致而烧坏	正确安装电磁铁使其吸力方向与阀芯移动方向一致
电磁阀在使用中交流电磁铁出现“嗡嗡”声或“嗒嗒”声	1）交流电磁铁（线圈通电时可动铁芯与固定铁芯间形成磁路以产生吸力）自身问题导致固定铁芯与可动铁芯不能很好地吸合而发出响声，如导向板与可动铁芯加工装配不好或可动铁芯与固定铁芯加工有误	修整导向板与可动铁芯，必要时直接更换合格配件
	2）可动铁芯与固定铁芯之间的气隙内有脱落的红丹防锈漆片及其他污物，致不能很好得吸合而产生“嗡嗡”声	清除污物
	3）固定铁芯上的铜短路环断裂而产生电磁声和振动声	更换铜短路环
	4）推杆过长使可动铁芯与固定铁芯不能很好吸合而保持正常间隙，遂发出“嗒嗒”声	适当减短推杆长度可立即消除噪声，但推杆磨短后可能影响阀芯的开度，故须综合考虑以免换向不良
	5）复位弹簧力过大超过了电磁铁的吸力，通电时发出“嗒嗒”声	换为刚度小的弹簧
	6）阀芯与阀孔因毛刺及配合精度存在问题使摩擦力过大超过了电磁铁的吸力，或因污物卡住阀芯致电磁铁推不动阀芯而发出“嗡嗡”声	用精油石抛光阀芯及用可调研磨棒研磨阀孔以去除毛刺；重新选配阀芯使其与阀体孔的配合间隙在规定值内（如0.01～0.02mm）；拆洗电磁阀并过滤油液
电磁铁其他故障	1）电磁铁自身加工有误差使各运动件接触部位的摩擦力大；直流电磁铁衔铁与套筒间有污物、锈蚀等而卡死导致直流电磁铁吸力不够	油石砂磨锈蚀处并去除污物，更换电磁铁组成件以减小运动件接触部位的摩擦力
	2）焊接不良使电磁铁的进出线连接松脱而不能工作；或电磁铁的电源供应异常（断路等）使电磁铁不动作（不换向）	确认PLC已输出电磁阀控制信号后查中间继电器是否吸合，电磁铁的电源供应是否正常及线圈是否烧毁

（续）

常见故障	可能原因	处理方法
电磁阀换向不可靠，如不换向，两个方向换向速度不一致，阀芯停止运动约 5min 后再移动十分费力（液压卡紧）	换向可靠条件：弹簧力应大于阀芯的摩擦阻力以保证复位可靠，电磁力应大于弹簧力和阀芯摩擦阻力之和以保证可靠换位	
	1）电磁铁自身加工有误差，引出线受振动而断头或因焊接不牢而脱落，电源供应异常等，进而使电磁铁线圈的电路不能接通而不能换向	确认 PLC 已输出电磁阀控制信号后查中间继电器是否吸合，电磁铁的电源供应是否正常及线圈是否烧毁；更换电磁铁组成件以减小运动件接触部位的摩擦力
	2）交流电磁体的可动铁芯被导向板卡住，直流电磁铁衔铁与套筒间有污物、锈蚀等而卡死，进而使电磁铁不能很好吸合，造成阀芯不移动或移动不到位，电磁阀的油路不切换而不能换向	修整导向板与可动铁芯，油石砂磨锈蚀处并去除污物，确保电磁铁能够良好吸合使阀芯移动到位
	3）电磁铁固定铁芯上的小孔不能正对阀体推杆阀芯的轴心线，造成推杆吸合过程中歪斜而增大阀芯运动副的摩擦力	修正固定铁芯上的小孔保证与推杆阀芯同轴
	4）电磁铁电压过低使其不能吸合致电磁阀不换向；吸引力 $F \propto (E/fN)^2$ 式中 E 为电压，f 为频率，N 为线圈匝数	用万用表测电磁铁电压应在额定电压的 85% ~105% 范围内，电网电压不稳定时应为电路增加稳压电源
	5）电磁阀电压与频率（国内电源频率 50Hz，有些进口设备为 60Hz）错误	弄清楚所用电磁铁的形式（直流/交流）及线圈电压的类型（AC220V、AC110V、DC24V 等）
	6）阀芯台肩及阀芯平衡槽锐边处有毛刺，阀体沉割槽锐角处有毛刺（阀体孔内毛刺多是翻向沉割槽内，清除难度和危害较大）	采用振动去毛刺的方法去除阀芯及其周围的毛刺，采用尼龙刷清理阀体孔内的毛刺等
	7）阀芯与阀孔因圆度和圆柱度等几何精度不好而产生液压卡紧，尤其阀芯停止运动约 5min 后再移动时十分费力，造成电磁阀不换向	液压卡紧故障时应检查阀芯与阀孔的几何精度，通常将其控制在 0.003 ~ 0.005mm 之内
	8）电磁阀安装时紧固螺钉拧得过紧使阀孔变形而卡死阀芯造成不换向	按生产商推荐拧紧力矩值用力矩扳手拧紧安装螺钉（M5：6 ~ 9 N·m；M6：12 ~ 15N·m；M8：20 ~ 25 N·m等）
	9）阀孔与阀体端面不垂直，电磁铁装上后造成推杆歪斜别劲而导致阀芯运动阻力过大	修复阀体端面，严重时应更换新阀体或阀芯
	10）阀泄油口 L 被堵塞（未钻通或 L 孔与阀孔交位处因偏斜致交叉处穿通面积太小等）使泄油通道不畅，造成阀芯两端困油而不能推动阀芯	拆洗电磁阀去除污物，修复 L 孔或难修复时更换新件
	11）阀芯上均压（平衡）槽加工时单边偏心致使用中产生液压卡紧故障而造成电磁阀换向不良	更换新阀芯
	12）阀芯台肩与阀体沉割槽尺寸有误造成两端换向速度不一致	更换新阀芯和阀体
	13）阀芯与阀体孔配合间隙过小造成摩擦阻力增大而液压卡紧，配合间隙过大时也会产生液压卡紧	阀芯与阀体孔的配合间隙一般为 0.007 ~ 0.02mm，可按规定值选配阀芯来保证配合间隙

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
电磁阀换向不可靠，如不换向，两个方向换向速度不一致，阀芯停止运动约 5min 后再移动十分费力（液压卡紧）	14）阀体材质（铸件）不好，安装螺钉压紧后阀孔呈椭圆而卡死阀芯	检验阀体材质并更换新阀体
	15）阀装配时清洗不良或清洗油不干净致使污物积存于阀芯与阀体孔配合间隙中而卡住阀芯，油箱无防尘措施和过滤措施或过滤不良致油液污物进入系统中，液压油老化、劣化产生油泥及其他污物并进入系统中而卡住阀芯，进而造成换向不良或不能换向	拆卸电磁阀，用干净的清洗油清洗各组成件以去除污物；更换油箱内吸油、回油过滤器，油箱增加防尘装置；对油液进行精过滤，按规定更换液压油等
	16）复位弹簧疲劳或折断及错装弱弹簧使弹簧力不够造成阀芯不复位	更换为刚度合适的复位弹簧
	17）泄油口 L 被堵塞或未钻通时使电磁阀背压过大超过了电磁力（推力）	拆洗电磁阀去除污物，修复 L 孔或难修复时更换新件
	18）推杆处 O 形密封圈因线径过大、有飞边或被油液浸泡胀大，造成推杆的抱紧力过大而不能复位	更换推杆处的 O 形密封圈
电磁阀外泄漏，如电磁铁与阀体结合面间，电磁阀阀体与安装底板或集成块结合面间，工艺堵头及工艺阀头	1）因连通两 T 腔（如 34D－25B 型电磁阀）的工艺横孔的孔口工艺堵头或圆柱堵头密封配合不良而外泄漏	孔口螺纹重新攻螺纹及螺纹堵头正确缠绕四氟乙烯（缠绕方向与螺纹拧入方向相反）后重新拧入并拧紧，圆柱堵头松动漏油时应将其打出重配并保证过盈配合
	2）“推杆—O 形圈—定位套”结构的电磁阀，因推杆表面拉伤、O 形圈密封失效或定位套外径与泄油腔间的空隙较小而产生外泄漏	推杆表面光洁无拉伤（＞Ra0.4μm）且 O 形圈密封良好，适当增大定位套外径与泄油腔间的空隙
	3）电磁阀安装面上各油口（P、A、B、T、L）的 O 形圈凹窝加工深浅不一致使凹窝深的无压缩变形量而外泄漏，或凹窝表面有加工波纹而外泄漏	修复 O 形圈凹窝保证良好的光洁度，更换线径大的 O 形密封圈
	4）电磁阀四个安装螺钉中有一个螺纹长度不够或因安装板上攻螺纹深度不够致使电磁阀未拧紧，使其密封不严而外泄漏	更换螺纹长度合适的螺钉，安装板螺钉孔重新攻螺纹
	5）阀体或安装板有缩松气孔等铸造缺陷而造成外泄漏	焊补法修理阀体或安装板，严重时直接换新件
	6）因工艺堵头的螺纹配合不好或堵头表面未缠绕四氟乙烯而外泄漏，圆柱堵头因配合过松或孔表面粗糙而外泄漏	孔口螺纹重新攻螺纹及螺纹堵头正确缠绕四氟乙烯后重新拧入拧紧，打出圆柱堵头重配并保证过盈配合
内泄漏致功率损失引起系统温升甚至动作失常	1）阀芯与阀孔的配合间隙因制造误差或长时间磨损而过大	重新选配阀芯保证配合间隙（一般为 0.007～0.02mm）
	2）阀体内有缩松气孔等铸造缺陷	焊补法修理阀体，严重时直接换新件
	3）阀芯与阀体孔因毛刺造成偏心而通过偏心环状间隙泄漏	精油石抛光阀芯、可调研磨棒研磨阀孔以去除毛刺
	4）油温过高使内泄漏量大	系统内油液降温处理，增加或恢复油冷却器

4.1.5 液压辅助元件及故障

液压辅助元件包括油箱、过滤器、蓄能器、热交换器、油管与管接头、密封件等。它们与液压元件一样，均为液压系统中不可缺少的组成部分，对系统的动态性能、工作稳定性、工作寿命、噪声和温升等都有着直接影响，因此在使用和维护过程中必须给予足够的重视。

1. 油箱及故障

（1）简介　作为非标准件（一般为厚4mm左右的钢板焊接而成）的油箱是保证液压系统正常工作的一个重要部件，它的好坏直接影响着液压系统的工作可靠性，尤其是对液压泵的寿命有着决定性的影响。它既可储存足够的工作介质（如油液）来满足液压系统正常工作需要，又可通过油箱表面积来散发掉系统工作中产生的热量；既可分离介质中混入的空气以减少气穴的发生，又可沉淀介质中的污染物和杂质以及防止外部污染物进入。按液面是否与大气相通，油箱有开式和闭式之分，其中开式油箱因箱内液面直接与大气相通且液面压力为大气压（见图4-76）而被广泛应用于一般的液压系统中，闭式油箱因完全封闭且箱内充有压缩气体而被用于水下、高压或对工作稳定性等有严格要求的场合。

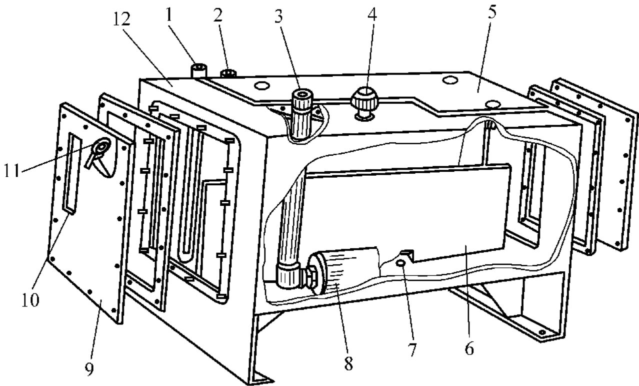


图4-76　开式油箱的结构图

1—回油管　2—泄油管　3—吸油管　4—空气滤清器　5—安装板（泵和电动机）　6—隔板（分离吸、回油区）　7—放油孔（底部）　8—粗过滤器　9—清洗窗侧板　10—液位计窗口　11—注油口　12—油箱上盖

（2）油箱常见故障的可能原因及处理方法　见表4-33。

表4-33　油箱常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
油箱温升严重（正常工作温度15～66℃）	1）油箱设置在高温热辐射源附近使得环境温度过高	尽量避开热源或增加油冷却装置
	2）液压系统各种压力损失（如溢流、减压等）产生的能量转换大	为系统增加卸载回路以减少高压溢流损失，正确选择液压元件以减少泄漏损失、容积损失和机械损失带来的发热现象，正确配管以减少过细过长或弯曲过多及分支与汇流不当所带来的局部压力损失
	3）油箱设计时散热面积不够	据油箱有效容量经验公式 $V=mq_p$（式中 q_p 为泵流量；m 为经验系数，低压系统中2～4，中压系统中5～7，中高压或高压系统中6～12）选择油箱，对功率较大且连续工作的液压系统应进行热平衡计算
	4）油液黏度选择不当	正确选择油液黏度

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
油箱内油液被污染	1）油箱内有油漆剥落片、焊渣剥离片等	油箱内油漆应与液压油相容并正确油漆油箱内壁（如先严格去油、去锈、去污后再油漆）
	2）油箱防尘措施不好，自外界空气中进入尘埃或腐蚀性气体等	注意油箱箱盖的防尘密封，仅允许装在箱盖上的空气滤清器（兼作注油口）与大气相通以防尘埃等进入
	3）因温差而凝结在油箱顶盖的水珠进入油箱，油冷却装置破损而漏水	检查漏水部位并排除
油箱内油液、空气难以分离	1）回流油液在油箱内的搅拌会产生悬浮状气泡而夹在油液内，如被带入液压系统中则产生噪声、气穴或液压缸爬行等故障	油箱内设置消泡隔板来分离吸油区和回油区，使回流油液被隔板折流而流速减慢及沉淀杂质
		油箱底部安装一块倾斜角度为20°的金属网进行消泡，且60目金属网的消泡效果最佳
	2）箱盖上空气滤清器被污物堵塞后会使油液、空气难以分离，同时导致系统工作中油箱液面上下波动而在油箱内产生负压使泵吸入不良	拆开空气滤清器进行清洗
油箱振动和噪声	1）装在油箱箱盖顶部的液压泵电动机装置导致油箱振动和噪声	使用减振垫和弹性联轴节来安装液压泵电动机，并对回转件进行平衡，及对泵轴与电动机轴的同轴度进行检查，油箱盖板应有足够的刚度
	2）油温升高提高了油中空气的分离压力而加剧系统的噪声	使油箱的油温稳定在一个较低的范围内（如30～55℃）
	3）油箱结构上采取整体性防振措施消除振动和噪声，如牢靠的油泵支座、整体式底板和厚油箱顶盖、地脚螺栓固定油箱等	

2. 过滤器及故障

（1）简介　外界灰尘、脏污以及油液和管道的氧化变质会使油液中不可避免地混入各种固体杂质，它们侵入液压系统后不仅使相对运动零件的表面磨损、划伤或卡死（滑阀卡滞），还会堵塞节流小孔和阀口，从而造成油液污染或液压元件动作不良甚至不动作等故障；因此，在液压系统中非常有必要使用各种过滤器（亦称滤油器），以有效消除油液中的固体杂质（即流过过滤器的油液中尺寸大于过滤器微小间隙或小孔的颗粒状杂质被阻隔）和降低系统中油液的污染度，从而保证液压系统正常工作。

1）液压系统对过滤器的基本要求：一是满足液压系统对过滤精度的要求，即能阻挡一定尺寸的机械杂质进入系统；二是通流能力大，即全部流量通过时不会引起过大的压力损失；三是滤芯应有足够强度，不会因压力油作用而损坏；四是易于清洗或更换滤芯，便于拆装和维护。

2）过滤器的主要性能指标：过滤精度、压降特性、纳垢容量和工作压力等。

① 过滤精度是选用过滤器时最重要的性能指标，它是指滤芯可滤除掉最小杂质颗粒的大小，即不超过滤芯最大通孔直径 d_{max} 的固体杂质可通过滤芯；过滤精度用滤芯的通孔直径 d 表示，并可分为粗过滤器（$d \leqslant 100\mu m$）、普通过滤器（$d \leqslant 10\mu m$）、精过滤器（$d \leqslant 5\mu m$）和特精过滤器（$d \leqslant 1\mu m$）。

② 压降特性是指油液通过过滤器滤芯时所产生的压力损失，滤芯精度越高所产生的压降越大，滤芯的有效过滤面积越大所产生的压降就越小。

③ 纳垢容量是指压降达到规定数值时积聚在过滤器中污垢重量的最大值，纳垢容量越大则过滤器的使用寿命越长。

④ 工作压力是指过滤器工作时可承受住液压力作用而滤芯不被破坏的系统压力。

3）过滤器的类型及特点：按滤芯材料和结构型式的不同，过滤器可分为网式、线隙式、纸质滤芯式和烧结式等。

① 网式过滤器（见图 4-77a）主要由金属筒形骨架、丝网（100 ~ 200 目的铜网）和支架等组成，其过滤精度与网层数和网孔大小有关。网式过滤器因结构简单、通流能力大和清洗方便而多用于液压泵的吸油管上，但其过滤精度较低，压力损失不超过 0.04MPa。

② 线隙式过滤器（见图 4-77b）是用密绕在筒形骨架外部的一层金属丝（钢线或铝线）组成滤芯并依靠金属丝间的微小间隙来滤除混入油液中杂质的，因其过滤精度比网式过滤器高且结构简单、通流能力大而多用于回油管路和液压泵的吸油口处；但线隙式过滤器的滤芯材料强度低不易清洗，其压力损失一般不超过 0.03 ~ 0.06MPa。

③ 纸芯式过滤器（见图 4-77c）的结构类似于线隙式结构但滤芯不同，其滤芯是由平纹/波纹的酚醛树脂或木浆微孔滤纸制成，并将其折叠后（可增大过滤面积）围绕在带孔的镀锡铁做成的骨架上，因其过滤精度高而常被用于油液的精过滤；但纸芯式过滤器的滤芯堵塞后无法清洗（只能更换），其压力损失为 0.01 ~ 0.04 MPa。

④ 烧结式过滤器（见图 4-77d）是用金属粉末烧结制成滤芯并利用金属颗粒间的微孔来阻挡油液中杂质通过，因其过滤精度（受金属颗粒大小的影响）高且可承受高压而多用于高压型液压系统的精过滤；但烧结式过滤器的金属颗粒易脱落、滤芯堵塞后不易清洗，其压力损失为 0.03 ~ 0.2MPa。

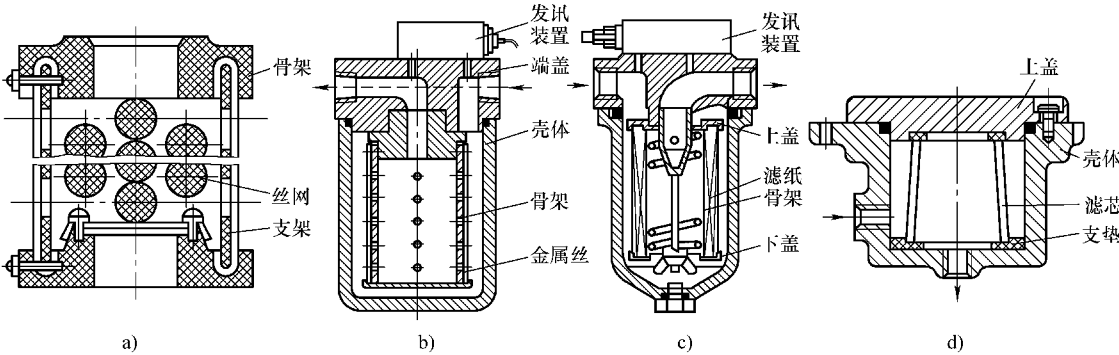


图 4-77 常见四种过滤器的结构图

a）网式过滤器 b）线隙式过滤器 c）纸芯式过滤器 d）烧结式过滤器

4）过滤器的选用原则及其在液压回路中的安装位置：详见第 4.1.3 节“液压工作介质及故障”的内容。

（2）过滤器常见故障的可能原因及处理方法 见表 4-34。

表 4-34 过滤器常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
滤芯变形（弯曲、凹陷吸扁或冲破等）	1）滤芯在工作中被污染物严重阻塞而未得到及时清洗，流进与流出滤芯的压差增大，滤芯强度不够而发生变形	用干净清洗油清洗滤芯或用现场高压风吹掉滤芯上污物
	2）过滤器选用不当，超过了所允许的最高工作压力	正确选用过滤器

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
滤芯变形（弯曲、凹陷吸扁或冲破等）	3）装高压蓄能器的液压系统因某种故障使蓄能器油液反灌冲坏过滤器	更换滤芯，查找蓄能器油液反灌的原因并消除
网式过滤器脱焊	过滤器处局部油温 t 过高（高压柱塞泵进口处 $t>100℃$）接近或超过焊料熔点温度，又焊接不牢，在油液冲击下脱焊（金属网与骨架脱离）	将金属网的焊料由锡铅焊料（熔点 183℃）改为银焊料或银镉焊料，使其熔点提高至 235～300℃
烧结式过滤器掉粒	烧结滤芯的金属粉末质量不佳致脱落颗粒堵塞节流孔和卡死阀芯等	选用检验合格的烧结式过滤器
过滤器堵塞	滤芯表面纳垢严重使过滤器堵塞而导致液压泵吸油不良、产生噪声或气穴以及滤芯被堵塞形成的压降击穿等故障	用干净清洗油清洗滤芯或用现场高压风（脉动气流最佳）在滤垢积层的反面吹掉滤芯上污物
注：滤芯的清洗和更换步骤	①纸质滤芯：根据压力表或堵塞指示器指示的过滤阻抗，直接更换新滤芯，一般不清洗。②网式和线隙式滤芯：溶剂脱脂→毛刷清洗→水压清洗→气压吹净→干燥后组装。③烧结金属滤芯：毛刷清扫→溶剂脱脂→水压气压吹洗→酸处理→水压气压吹洗→气压吹净脱水→干燥后组装	

3. 蓄能器及故障

（1）简介　蓄能器是一种既可储存工作介质（油液或压缩气体）压力能又可在需要时将该能量释放出来供给系统的装置。

1）蓄能器的典型用途：

① 用做辅助动力源：在间歇工作或实现周期性动作循环的液压系统中蓄能器可把液压泵输出的多余压力油（一定容积）储存起来，当系统需要时再由蓄能器将其释放出来。如此可减少液压泵额定流量，进而减小电动机功率消耗和降低液压系统的温升。在图4-78a中，三位四通型电磁换向阀（O 型滑阀机能）处于中位时蓄能器储存液压泵的输油量，YV1 得电时推杆推动阀芯向右移动使 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 T_1 接通，液压缸有杆腔（下端）进油而活塞向上移动，此时蓄能器释放能量、与液压泵一起供油使活塞快速上升。

② 作为漏损补偿器：液压系统中执行元件需要在恒定压力下维持长时间不动作时，可用蓄能器来补偿系统的内泄漏和外泄漏以使系统压力在一段时间内保持不变，即“保压”。在图4-78b中，三位四通型换向阀（O 型滑阀机能）的线圈 YV4 得电时推杆推动阀芯向左移动使 P_2 与 A_2 接通、B_2 与 T_2 接通，液压缸无杆腔（下端）进油使活塞向上移动而压紧工件，且蓄能器储存一定容积的压力油。工件压紧后 YV4 断电，电磁阀处于中位使 P_2、A_2、B_2、T_2 四油口关闭而停止向液压缸供油，此时蓄能器可用于补充液压缸和电磁阀的内外泄漏损失以防被压紧的工件松开。

③ 作为热膨胀补偿器：图 4-78c 所示的封闭回路系统受热时，在“液体体积的膨胀系数一般大于金属管腔材料的膨胀系数”影响下，受热后的液体体积 V 将使封闭回路中的压力升高，并有可能超过安全极限的压力而发生危险。此时可用蓄能器（充气压力为正常工作压力）来吸收系统液体体积的任何增加以起到保护作用，即压力过大时液压油经虚线表示的控制油路流向外控内泄型顺序阀并将其打开使液压泵排除的油液回流油箱而卸荷，发生收缩时蓄能器又可向系统供给所需液体。

④ 用做应急动力源：在某些液压系统中，万一电源断电或液压泵发生故障而供油停止时，

执行元件仍需继续完成必要的动作以紧急避险和保证安全。此时可用一个适当容量的蓄能器作应急动力源（见图 4-78d），当供油突然中断时单向阀 2 正向导通而 1 反向截止，蓄能器储存的压力油经单向阀 2 释放至系统以在短时间内维持一定的压力，使执行元件继续完成必要的动作。

⑤ 作为液体补充装置：在封闭的液压系统中蓄能器可有效地作为一个液体装置（见图 4-78e），来补充图中有杆腔（上端）和无杆腔（下端）间油液的体积之差。当活塞杆在较大外力作用下向内回退时，无杆腔内的油液通过可调单向节流阀而被挤向有杆腔，因行程相同使得无杆腔挤出的油液会多于挤入有杆腔内的油液，多余油液则储存在蓄能器中；当去掉外力后，蓄能器内的多余油液会补充无杆腔内的较大空间。

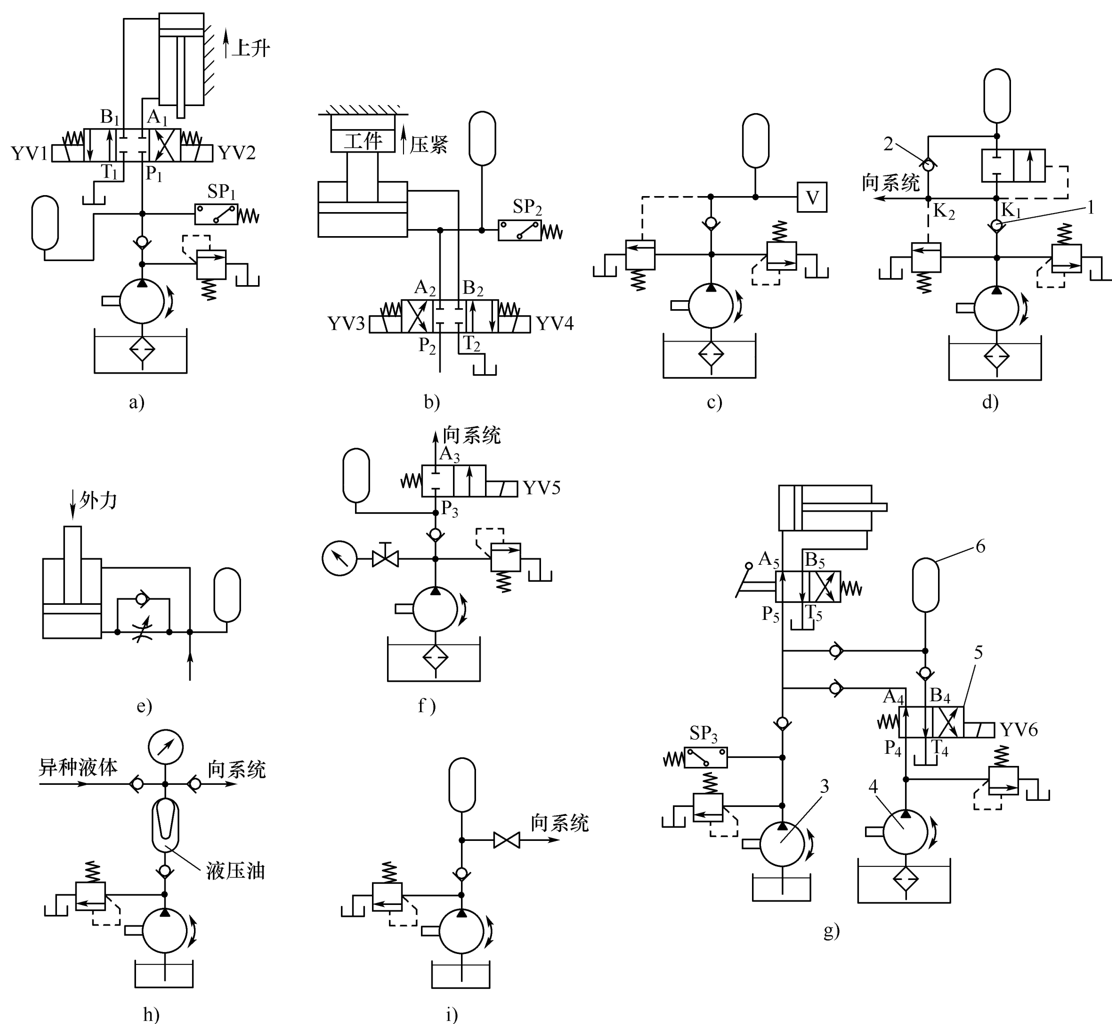


图 4-78　蓄能器的典型用途

a）蓄能器用作辅助动力源　b）蓄能器作为漏损补偿器（保压）　c）蓄能器作为热膨胀补偿器
d）蓄能器用作应急动力源　e）蓄能器作为液体补充装置　f）蓄能器作为脉动阻尼器与油击吸收器
g）蓄能器用作双向回路中的动力源　h）蓄能器传递其他液体　i）蓄能器用作液体分配器
1、2—单向阀　3—高压小流量泵　4—低压大流量泵　5—二位二通型电磁换向阀　6—蓄能器

⑥ 作为脉动阻尼器与油击吸收器：在液压系统中，不但液压泵工作时的流量脉动会引起压力脉动，而且运动部件的启动、停止和换向（即系统压力突变时）还会产生液压冲击。压力脉动过大会影响液压系统的工作性能，冲击力过大则会损坏液压元件，为此可在脉动源处（如液

压泵出口处）或冲击源附近（即液流速度急剧变化时）安装一个蓄能器，以起到脉动阻尼器和油击吸收器的作用。图4-78f中，当二位二通型电磁换向阀（O型滑阀机能）的线圈YV5得电时，推杆推动阀芯向左移动使P_3与A_3接通而向系统供油；一旦YV5失电则电磁阀在复位弹簧作用下恢复中位（常闭状态），此时高速液流会突然停止而造成油击，在该冲击源附近设置蓄能器则可抑制油击并吸收脉动压力。

⑦ 用做双向回路中的动力源（见图4-78g）：在工作循环的快速阶段，蓄能器6为快速运动提供追加流量（手动阀处于图示位置），与高压小流量泵3和低压大流量泵4（此时二位二通型电磁换向阀5的线圈YV6不得电使阀处于中位，P_4与A_4接通、B_4与T_4接通）一起向系统供油，使液压缸的活塞杆快速向右伸出；运动至行程末端后系统压力升高，压力继电器SP3动作且线圈YV6得电，电磁阀5的推杆推动阀芯向左移动使P_4与B_4接通、A_4与T_4接通，低压大流量泵4输出的油液进入蓄能器中储存起来，而高压小流量泵3继续向系统供油。

⑧ 传递其他液体（见图4-78h）：在液压回路中设置一个皮囊式蓄能器，利用皮囊（材料要与液体相容）的挠性隔离作用，使不能与液压油相混的异种液体以一种稳定的压力输送至系统中，即输入的液体压力下降时来自液压泵的压力油会压缩皮囊使异种液体在输送过程中增压而输向系统，反之则涨开皮囊使异种液体压力下降输向系统。

⑨ 用做液体分配器（见图4-78i）：液体或润滑剂预先储存在蓄能器内，当需要时可在控制压力下向一台复杂设备上的许多轴承和导轨等部件分配，长时间提供恒定的受控润滑剂直至重新充液。

2）蓄能器的类型及特点：主要有弹簧式和气体隔离式（目前应用最广）两种类型，其中气体隔离式又有气压式、活塞式和皮囊式3种结构。

① 弹簧式蓄能器（见图4-79a）是利用弹簧的伸缩来储存或释放压力能的，具有结构简单、反应灵敏及容量小的特点，可在小容量低压型回路（$p<1\sim1.2$MPa）中作缓冲之用。

② 气压式蓄能器（见图4-79b）是利用气体的压缩和膨胀来储存或释放压力能的，其气体在蓄能器中与液压油直接接触，具有惯性小、轮廓尺寸小、反应灵敏和容量较大的特点，但气体易混入油液内影响系统工作的平稳性，故仅适用于大流量的中/低压型回路。

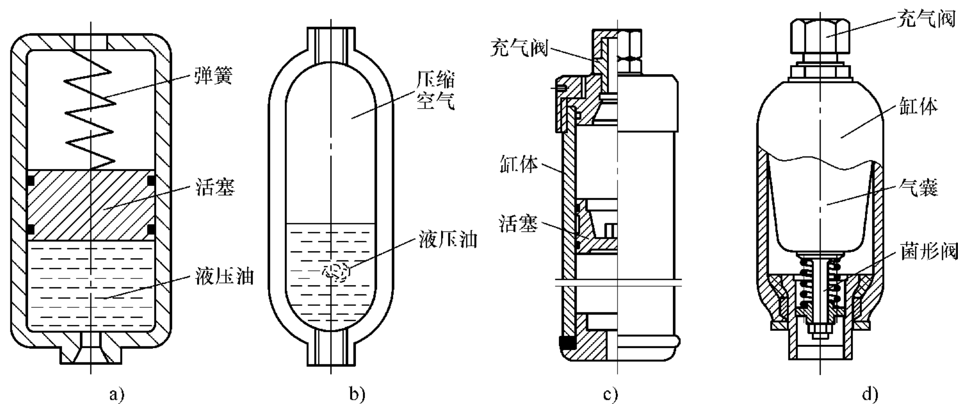


图4-79 蓄能器的结构简图

a）弹簧式蓄能器 b）气压式蓄能器 c）活塞式蓄能器 d）皮囊式蓄能器

③ 活塞式蓄能器（见图4-79c）是利用气体的压缩和膨胀来储存或释放压力能的，其气体（多为氮气）通过充气阀充入蓄能器的活塞上部并由活塞将其与下部的液压油隔开，此活塞可随下部压力油的流入和流出而在缸体内往复滑动。它具有结构简单、工作可靠、安装容易和维修方便的特点，但因活塞运动时惯性和摩擦力（与缸体内壁间）的影响而反应不够灵敏，加之活塞

与缸筒内壁间的 O 形密封失效会造成气体与油液混合而影响系统工作的平稳性，故活塞式蓄能器多被用来储存能量或供中/高压型液压系统吸收压力脉动之用。

④ 皮囊式蓄能器（见图 4-79d）是利用气体的压缩和膨胀来储存或释放压力能的，其气体（多为氮气）通过充气阀（仅在蓄能器工作前皮囊充气时打开，蓄能器工作时关闭）充入蓄能器的波纹型皮囊（耐油橡胶制成），并由皮囊将其与通过菌形阀（带弹簧的进油阀）进入的液压油隔开。它具有结构尺寸小、重量轻、安装方便、维护容易和皮囊惯性小及反应灵敏的特点，目前国内应用最普遍。

（2）皮囊式蓄能器常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-35，其他类型的蓄能器可参考执行。

表 4-35　皮囊式蓄能器常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
蓄能器的压力下降严重而经常需要补气	1）皮囊的充气阀为单向阀形式，靠密封锥面密封。工作中蓄能器受到振动时可能会使阀芯松动、密封锥面不能密合而漏气	在充气阀的密封盖内垫入厚 3mm 左右的硬橡胶垫以加强密封
	2）阀芯上端螺母松脱使皮囊内氮气顷刻全部泄漏	据蓄能器使用说明书用充气工具向蓄能器充入氮气
皮囊的使用寿命短	使用的工作介质与皮囊材质的相容性，有污物混入，选用的公称容量不合适，油温不合适等	系统油液进行精过滤去除污物，选用合适公称容量的蓄能器，采取降温措施来改善系统的油温等
蓄能器不起作用	充气阀漏气严重使皮囊内根本无氮气，或皮囊破损进油，或最大工作压力 p_2 过低（即充气压力 $p_0 \geqslant p_2$）蓄能器完全丧失储能作用	查充气阀的气密性，漏气时应加强密封并补加氮气，充气阀处漏油时皮囊可能破裂应更换；$p_0 \geqslant p_2$ 时应降低充气压力 p_0 或据负载情况提高工作压力
吸收压力脉动效果差	因安装位置不当使得蓄能器吸收脉动压力的效果差	蓄能器与主管路分支点的连接管道尽可能短些且通径适当大些，以及蓄能器安装在靠近脉动源的位置

4. 热交换器及故障

（1）简介　液压系统中油液的工作温度一般以 30～50℃ 为宜，最高不超过 65℃，最低不低于 15℃。油温过高或过低均会影响系统的正常工作，为此可在油箱上安装冷却器和加热器来控制油液的温度。

1）冷却器：液压系统中使用的冷却器主要有蛇形管冷却器、强制对流式多管冷却器和风冷式冷却器。①蛇形管冷却器（见图 4-80a）直接安装在油箱内并浸入油液中，管内通冷却水，此种冷却器的冷却效果不好且耗水量大。②强制对流式多管冷却器在液压系统中用得较多，如图 4-80b所示。油液自 c 口进入、b 口流出并在水管外面流过，冷却水从右端盖中部的孔 d 进入并通过多根水管后从左端盖上的孔 a 流出，三块隔板用来增加油液的循环距离以改善散热条件、使冷却效果更好。③风冷式冷却器由风扇和许多带散热片的管子组成（见图 4-80c），用风扇迫使空气穿过管子和散热片表面来对管内流通的油液进行冷却。此种冷却器结构简单、价格低廉，但冷却效果较对流式多管器差，在行走机械的液压系统中使用较多。④通常，冷却器安装在液压系统的总回油管或溢流阀的回油管路及其他低压管路上，如图 4-81 所示（背压阀 7 对冷却器 6 起保护作用，系统不需冷却时可将截止阀 5 打开使油液直通油箱）。

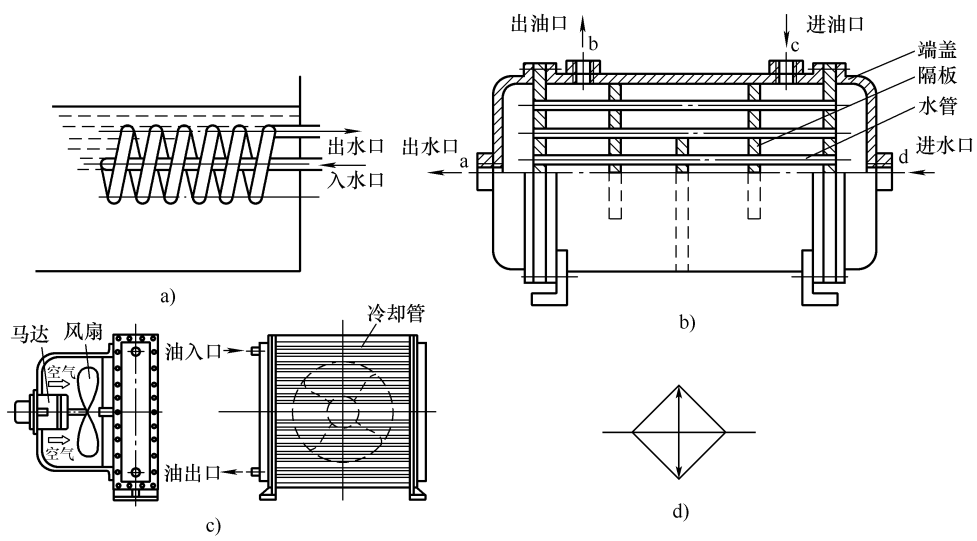


图 4-80　冷却器及图形符号

a）蛇形管冷却器　b）强制对流式多管冷却器　c）风冷式冷却器　d）图形符号

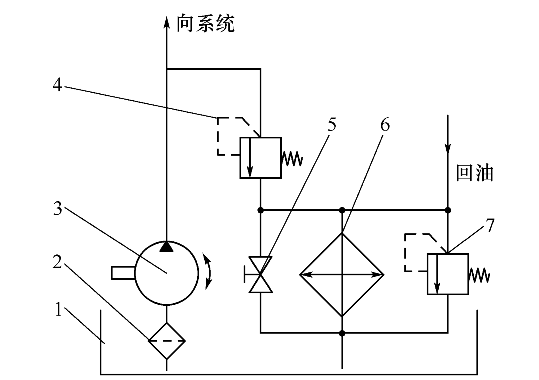


图 4-81　冷却器在液压系统中的安装位置

1—油箱　2—吸油过滤器　3—液压泵　4—直动式溢流阀

5—截止阀　6—冷却器　7—背压阀

2）加热器：通常液压系统可用结构简单的电加热器（能按需要自动调节最高/最低温度）来提高油液的温度，以防油温过低影响系统正常工作。电加热器需用法兰盘水平安装在油箱侧壁上且发热部分全部浸入油液中，如图 4-82 所示。

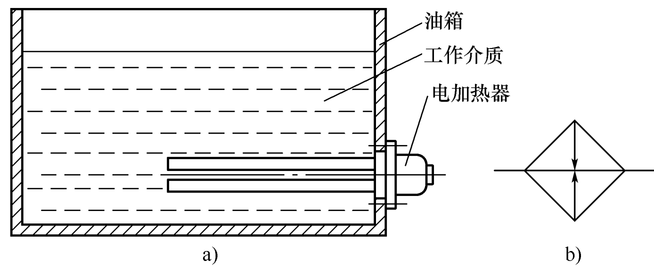


图 4-82　电加热器的安装示意图及图形符号

a）安装示意图　b）图形符号

（2）冷却器常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-36。

表 4-36　冷却器常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
冷却器被腐蚀	受材料、环境（水质或气体）和电化学反应 3 大因素影响而被腐蚀；环境中存的氧越多腐蚀反应越激烈，酸性 PH 值越低腐蚀越严重，氯离子会增加液体的导电性使电化学反应引起的腐蚀增大	选用耐腐蚀性的材料（如不锈钢），进行水质处理以合理控制冷却水的 PH 值、温度、流速和异物等
冷却性能下降	堵塞及沉积物滞留在冷却管壁上并结成硬块，使散热、换热功能降低	用机械方法（如刷子、压力、水或蒸汽等）或化学方法（如 Na_2CO_3 溶液与清洗剂等）清理堵塞的冷却器
部件破损	两种流体的温度差使冷却器材料受热膨胀产生热应力而造成部件破损	选不易受热膨胀影响的材料并采用浮动头之类的变形补偿结构，冬季或寒冷地区要放干净冷却器内水分
漏油、漏水	多管冷却器的端盖与筒体结合面漏水、漏油或冷却水管破裂、焊接不良等，造成漏水、漏油	据实际情况，更换密封（先洗净结合面再涂敷一层 303 类的粘结剂）或进行补焊等

5. 油管与管接头及故障

（1）简介　在液压系统中油管用来连接液压元件和输送液压油，管接头则是油管与油管、油管与液压元件之间可拆卸的连接件。若油管与管接头安装和使用不当，即使系统中的液压元件状态完好，也会出现振动、噪声、泄漏和发热等不良现象，使液压系统不能正常工作。因此，必须正确使用和维护油管与管接头。

1）常用油管的种类及特点　见表 4-37。

表 4-37　液压系统中常用油管的种类及特点

油管种类		特　点	适用场合
硬管	钢管	钢管可承受高压，价格低廉，耐油、抗腐蚀、刚性好，但装配时不能任意弯曲	常用于装拆方便处的压力管道（中/高压用无缝管，低压用焊接管）
	紫铜管	紫铜管易弯曲成各种形状，但承受压力一般不超过 6.5～10MPa，抗振能力较弱，易使油液氧化	通常用于液压装置的配接不便之处
软管	尼龙管	尼龙管呈乳白色半透明状，加热后可随意弯曲成形或扩口，冷却后又能定形不变，承压能力因材质而异（2.5～8MPa）	通常用于低压管路上
	塑料管	塑料管质轻耐油，价格便宜，装配方便，但承压能力低，长期使用会变质老化	仅适宜压力低于 0.5MPa 的回油管或泄漏油管等
	橡胶管	高压橡胶管由耐油橡胶夹钢丝层编织制成，钢丝网层数越多，耐压越高，价格越高	常用于中、高压系统中有相对运动的压力管道
		低压橡胶管由耐油橡胶夹帆布制成	可用于回油管道

2）常用管接头的种类及特点：液压系统中常用管接头主要有焊接式、卡套式、扩口式和扣压式及快速装拆接头等形式。

① 焊接式管接头是目前应用最多的一种管接头，连接时需把接管焊在目标钢管（被连接）的端部而接头体通过螺纹（一般为锥螺纹）拧入某元件的基体内，并在接头体的端面处放置 O

形密封圈后用螺帽将接管拧紧在接头体上（见图4-83a），有时将接管的端部做成球面后再与接头体的内锥面通过螺帽实现压紧（见图4-83b）。焊接式管接头制作简单，连接牢固，对被连接的管件尺寸精度要求不高，工作可靠，工作压力可达32MPa或更高。

② 卡套式管接头是通过拧紧螺帽使卡套发生弹性变形后将被连接管夹紧的（见图4-83c），此种管接头对轴向尺寸要求不严且装拆方便，但是对被连接油管的径向尺寸精度要求较高，为此需要选用冷拔无缝钢管。

③ 扩口式管接头是在旋紧螺帽时由套管将被连接油管（薄壁且塑性良好）的端部扩口后压紧在接头体锥面上的（见图4-83d），此种管接头结构简单，多用于铜管、薄壁钢管、尼龙管和塑料管等低压管道的连接。

④ 扣压式软管接头主要由接头外套和接头芯组成，在接头外套的内壁上有环形切槽而接头芯圆柱形的外壁上有径向切槽，将剥去外胶层的胶管套入接头芯后拧紧接头外套并在专用设备上进行扣压即可获得紧密连接的软管总成；它适用于中低压型液压系统。

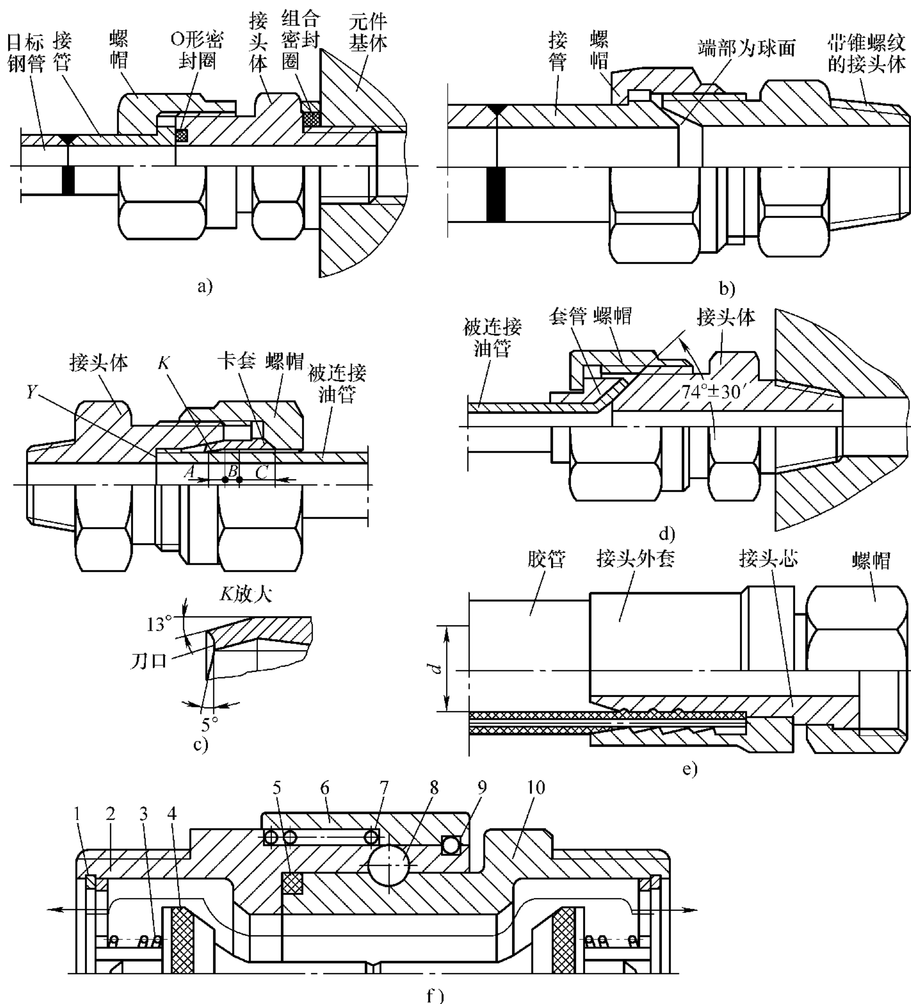


图4-83　液压系统中常用管接头的结构图

a）焊接式管接头1　b）焊接式管接头2　c）卡套式管接头　d）扩口式管接头

e）扣压式软管接头　f）两端开闭式快速装拆接头

1—挡圈　2、10—接头体　3、7—弹簧　4—单向阀阀芯　5—O形密封圈　6—外套　8—钢球　9—弹簧圈

⑤ 快速装拆接头是一种不需要使用工具就可实现管路迅速连通或断开的管接头，它有两种结构型式——两端开闭式和两端开放式。在图 4-83f 所示的两端开闭式快速装拆接头中，接头体 2 和 10 的内腔各有一个单向阀阀芯 4，当两个接头体分离时单向阀阀芯在弹簧的推动下会紧压在接头体的锥形孔上，关闭两端的通路使介质不能流出；当两个接头体连接时单向阀阀芯前端的顶杆相碰而迫使阀芯后退并压缩弹簧使通路打开。两个接头体间的连接是将接头体 2 上的钢球（6 个或 8 个）落在接头体 10 上的 V 形槽内实现的，工作时外套 6 压住钢球 8 使其无法退出而外套 6 由弹簧 7 顶住以保持在右端位置。快速装拆接头使用方便，且压力损失小，常用在各种液压试验台和油路经常断开的场合。

（2）油管与管接头常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-38。

表 4-38　油管与管接头常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可能原因	处理方法
管路与管接头漏油	1）橡胶及尼龙等挠性软管，因安装时挠性软管扭曲、软管与管接头连接处不是相对静止、运行时软管长度方向伸缩余地不够而拉的太紧、运行中发生与其他管道或刚性硬件摩擦、橡胶管接头弯曲半径不合理及管子破裂等，造成接头连接部位或管壁破裂处漏油	安装挠性软管拧紧螺纹时不要拧、扭软管并可在软管上划一彩线来辅助观察；长度方向要有收缩余量（约为管长度的 3%）而不可拉得太紧；在弯曲处即与管接头连接处应有一段呈直管的部分，长度≥2D（D 为管子外径）且弯曲最小曲率半径≥（9～10）D；避免软管外壁互相碰擦或与设备的尖角棱边相接触/摩擦，可在软管外面套上螺旋钢丝并在靠近接头处密绕以增大抗弯折的能力；系统软管数量较多时应分别安装管夹进行固定或用橡胶板隔开
	2）焊接式管接头及管路，因焊接不良或焊接处有气孔、裂纹、夹渣等缺陷，而引起焊接处漏油；有时虽焊接较好但焊接处形状处理不当，在使用一段时间后焊接处松脱而漏油	此时可磨掉焊缝重新焊接，焊后在焊接处进行应力消除（即用焊枪将焊接区域加热直至出现暗红色后再在空气中自然冷却）；刚性大的管子和接头在管接头接上管子时要对准，点焊几处后取下再进行焊接，不可用管夹、螺栓或管螺纹等强行拉直以免管子破裂、管接头歪斜而漏油
	3）卡套式管接头及管路，因被连接冷拔钢管外径与卡套内径配合部位不密贴、拉伤、有轴向沟槽或卡套与接头体内锥面不密合而漏油	将拉伤的冷拔钢管锯掉一段或更换合格的新卡套，使配合部位密贴
	4）扩口式管接头及管路，因拧紧力过大或过松、管子的弯曲角度和接管长度不对、接头位置距离太近无法拧紧、管接头加工质量不好等原因而出现漏油甚至喷油	使用扩口式管接头时要注意扩口处的质量，扩口不可太窄或有破裂，扩口端面至少与管套端面平齐；拧紧管接头螺母时紧固力矩要适当，可用划线法拧紧（用手将螺母拧至底部后在螺母和接头体间划一条线，然后用一只扳手扳住接头体，另一只扳手扳住螺母再拧紧 1/4～1/3 圈即可）；正确计算弯曲角度并控制接管长度合适；若干个接头紧靠在一起时应拉开管接头之间的距离并使管接头长度不等而位置错开进行拧紧；合理控制 A 型管套、接头体和紫铜管相互配合的锥面尺寸及保证表面质量，确保螺母的有效长度短于接头体的长度以将管套和紫铜管的锥面压在接头体的锥面上
	5）其他原因造成管接头漏油	管接头未拧紧时可用力矩扳手拧紧；管接头拧得过紧使螺纹孔口裂开或破坏其他密封面时可适当修复或更换有关零件；若公制细牙螺纹的管接头拧入锥牙螺纹中或反之时应采用符合液压管路连接标准的螺纹；若螺纹或螺孔安装前有损伤，则可用丝攻或板牙重新套螺纹或攻螺纹，或更换新接头

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
液压管路激烈振动，伴之噪声、漏油和管接头损坏	1）液压泵和电动机等振源的振动频率与配管的振动频率合拍而产生共振	使二者的振动频率之比控制在 1/3 ~ 3 范围之外，采用管夹和弹性支架等措施来防止振动
	2）液压管路内油柱振动严重	通过改变管路长度来改变油柱的固有振动频率，在管路中串联节流器
	3）管壁振动	尽量避免出现狭窄处和急剧弯曲处，使用弯头时弯曲半径尽量大些
	4）管内混入空气而造成振动和噪声	紧固各管接头连接处，查看吸油管是否露出油面、泵进油口的过滤器是否被污物阻塞而造成吸油阻力增大或存在泄漏等造成油箱内油液面太低等
	5）回油管不畅通、背压大或回油管路中的过滤器/冷却器被堵塞而产生振动冲击	回油管尽可能短而粗；回油管上安装过滤器/冷却器时，可另辟一支路安装背压阀或溢流阀来避免回油不畅，防止振动冲击

6. 密封件及故障

（1）简介　密封件的作用主要是防止工作介质的泄漏和防止外界异物（如空气、灰尘和水等）进入液压元件和液压系统中。密封件的好坏直接影响着液压传动装置工作的优劣，当设计和使用不良时，工作液体会大量泄漏而使系统效率下降，调压和保压失灵，执行机构动作不稳定，液控失调致操纵失灵，泄漏油液污染环境及在热加工时可能着火而酿成事故等。为此，必须正确选择密封形式（如回转部位的密封可采用油封、机械密封、挤压密封或填料密封的形式）和密封圈的形状种类，正确设计密封装置的结构、尺寸和精度，正确选择密封圈的材料等。常用的密封方法和密封件有间隙密封、O 形密封圈、V 形密封圈和 Y 形密封圈及活塞环密封等（参见第 4.1.2 节中“液压缸的结构组成”中表 4-9）。

（2）密封件常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-39。

表 4-39　密封件常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
间隙密封出现泄漏	间隙密封是靠相对运动件配合面间的间隙产生液体流动阻力进行密封的，因存在环状间隙或平板缝隙而不能完全阻止泄漏只能力求减少；根据环形缝隙轴向流动理论——泄漏量与间隙的 3 次方成正比	尽量减小配合面间的间隙降低压差，增加密封面长度，提高加工质量，配合表面开均压槽（如阀芯）及用可补偿间隙法（如齿轮泵的浮动侧板）来减少泄漏
活塞环密封有泄漏	用高级铸铁或铸造磷青铜制成的弹性环（即活塞环）属半永久密封，开口在径向涨缩时产生密封，因有开口而不能完全阻止泄漏。泄漏原因：毛刺/污物将活塞环卡死在槽内使其不能涨开而丧失密封性能，或活塞环的材料和热处理不好产生断裂而不能密封及可能拉坏被密封面	装配前检查活塞环的弹力和涨缩性能，并去除活塞环锐边上的毛刺和活塞环形槽上的毛刺，清洗干净

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
O 形密封圈有泄漏	1）O 形圈沟槽设计不好（沟槽形状、尺寸及公差和表面质量）引起泄漏	优先选用矩形沟槽，沟槽外边口采用较小的圆角半径（0.1～0.2mm）以避免此处锋利刃口切破密封等
	2）O 形圈沟槽加工不良（沟槽尺寸、密封表面粗糙度及密封沟槽的同轴度等）引起泄漏	按图纸尺寸检查密封沟槽有不合格时返工或报废；避免已加工好的密封沟槽碰伤或留有机加工刀痕（刀痕方向不得与泄漏方向一致）；平面静密封时 O 形圈沟槽的凹坑加工过深或上下油孔偏心而产生泄漏
	3）因加工不好、密封盖尺寸或法兰盖尺寸超差致间隙过大，使 O 形密封圈被挤出；或沟槽尺寸过窄而切破密封圈（被咬伤）导致泄漏	采用加挡圈的方式来防止密封圈被挤出沟槽，保证密封盖和法兰盖等零件的尺寸公差，安装螺钉不可过长或螺孔不能太浅以免出现少量顶底现象造成高低压交变作用时被挤入间隙的 O 形圈咬坏
	4）装配时装入不合格的 O 形圈，如使用密封表面有拉伤、沟纹、缺口、飞边及变形老化龟裂的 O 形圈，或密封件不标准尺寸超差、外径过大等	选用尺寸合格、状态完好的新 O 形圈替换
	5）装配时 O 形圈脱落错位致压紧后被压扁且偏离被密封位置而不密封	可在密封槽内涂上黄油粘住 O 形圈后再装配，也可立起来装配（如油缸缸盖）以免 O 形圈因自重而松弛下垂
	6）螺纹旋紧的缸盖，若缸体的螺纹内径比 O 形圈（装在缸盖上）的外径小则装配时牙尖会损坏 O 形圈；自螺纹部分至滑动部位过渡处，倒角不够大或未去毛刺及表面很粗糙时强行拧入缸盖则会损坏 O 形圈	前者可适当修改螺纹的内径尺寸；后者可加工一平滑锥面滑坡过渡，并注意倒角和去毛刺
	7）孔口未倒角则 O 形圈装入时会被孔口尖角和毛刺划破而漏油	孔口做成较大圆角 R 过渡或光滑锥面过渡，如 a 处做成 R 圆角，b 处做成光滑过渡锥面，c 处去掉尖角毛刺
	8）O 形圈自有螺纹、键槽、扁方或花键等处装入时易被锐边尖角切破	软带/纸套包住这些部位，推入孔中用铜/铝套导向
	9）被密封的压力过高或因冲击压力过大造成 O 形圈泄漏	一般不加挡圈的 O 形圈静密封时压力可较大；但压力超过 4MPa 的动密封不加挡圈时可能漏油，故加挡圈
	10）使用中灰尘和污物侵入密封部位而损坏密封造成泄漏	采取防尘措施并防止液压油污染
V 形密封圈有泄漏	1）调节的压紧力过小时唇部抱紧力不足而引起泄漏	适当增大压紧力
	2）压紧力过大或不均匀时易出现局部温升和磨损引起泄漏（主要原因）	适当减小压紧力并在圆周方向做到压紧力均匀分布

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
V 形密封圈有泄漏	3）采用金属制成的压紧环和支承环时，若其内孔与密封间的间隙过大则会将 V 形密封圈挤入间隙造成密封环破损而泄漏	尽量减小配合间隙
	4）V 形密封圈因污物毛刺而拉伤唇部	应更换新的 V 形密封圈
Y 形密封圈自身损坏及泄漏	1）困油：Y 形密封为单向密封，作双向密封时需 2 个密封圈背对背使用。泄漏会在 2 个密封圈间形成困油区而将低压侧密封圈挤入间隙致密封唇部被切破，从而产生泄漏	加设支承圈并在支承圈上开一小孔以消除密封圈所受背压造成的困油现象
	2）翻转：若运动时摩擦力产生的外力矩大于 Y 形圈自身的抗扭能力则密封圈会整周翻转或局部翻转而丧失密封能力	改 Y 形密封为 Yx 形密封圈，提高橡胶硬度或采用抗扭挡圈来防止密封圈翻转
	3）挤出：困油时会将密封圈挤出；在高压油作用下，若配合间隙过大则密封圈跟部也会被挤出间隙而造成破坏	提高橡胶硬度，用挡圈来防止密封圈挤出和翻转或密封圈中设金属骨架以增强密封圈跟部抗挤出能力
	4）跟部磨损：预压量过大是 Y 形密封跟部磨损的主要原因	合理选择密封圈的内外径与轴孔径及密封沟槽尺寸
	5）异常声：液压缸在高压低速下工作时，Y 形密封圈会沿轴或缸孔表面滑动，使橡胶与金属接触面间出现短时“附着—脱离—附着—脱离”现象，从而发出“辟里辟里”声，同时 Y 形密封圈的使用寿命缩短	降低密封圈胶料的摩擦系数，使密封接触面保持润滑油膜，避免使用黏度过低的液压油，尽量避免使用过高的工作压力和过低的工作速度等
	6）尘埃损坏：液压油内污物及活塞杆处进入缸内的泥水、尘埃或沙粒等会使 Y 形密封圈产生异常磨损	保持液压油清洁度，在活塞杆的外伸端设置防尘圈

4.2　润滑系统及故障

现代机床的润滑系统（指油液润滑，下同）一般是由润滑泵、油量分配器、分配系统、滤油器、电子程控器和压力开关及液位开关等组成（见图 4-84）。其中润滑泵用于向系统提供一定排量和压力的润滑剂，有手动润滑泵、电动润滑泵（应用最广）和气动润滑泵之分；油量分配器是将润滑剂定量或按比例分配至机床导轨、传动齿轮、滚珠丝杠螺母副和主轴箱等各润滑点，有阻尼式分配器、递进式分配器和容积式分配器之分；分配系统由管接头、柔性软管或刚性硬管及分配接头等各种附件装配而成并按要求向各润滑点输送润滑介质，从而使相对运动的两接触面间形成润滑膜（将接触面间的干摩擦变为润滑剂分子间的内摩擦）以达到减少摩擦、降低耗损和延长使用寿命的目的；滤油器用于过滤油液内锈片、灰尘、绒毛和小昆虫等污染物以保证向系统提供清洁的润滑剂；时间程控器、压力开关和液位开关用来控制润滑泵使其按预定要求（润滑时间和次数等）进行自动周期性工作并监控系统压力和油箱液位以及显示系统工作状态等。具有降低摩擦（即接触面间的润滑膜可通过降低摩擦系数来减少摩擦阻力）、减少磨损（磨粒磨

损、粘着磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损）和防锈清洁（润滑膜既可防止空气、水滴和氧化物等引起的接触面间锈蚀又可通过油液循环带走杂质再经过滤装置过滤掉）作用的润滑系统在机床整机中占有十分重要的位置，其设计、调试和维修保养，对于提高机床加工精度和延长机床使用寿命等都有着十分重要的实用价值。

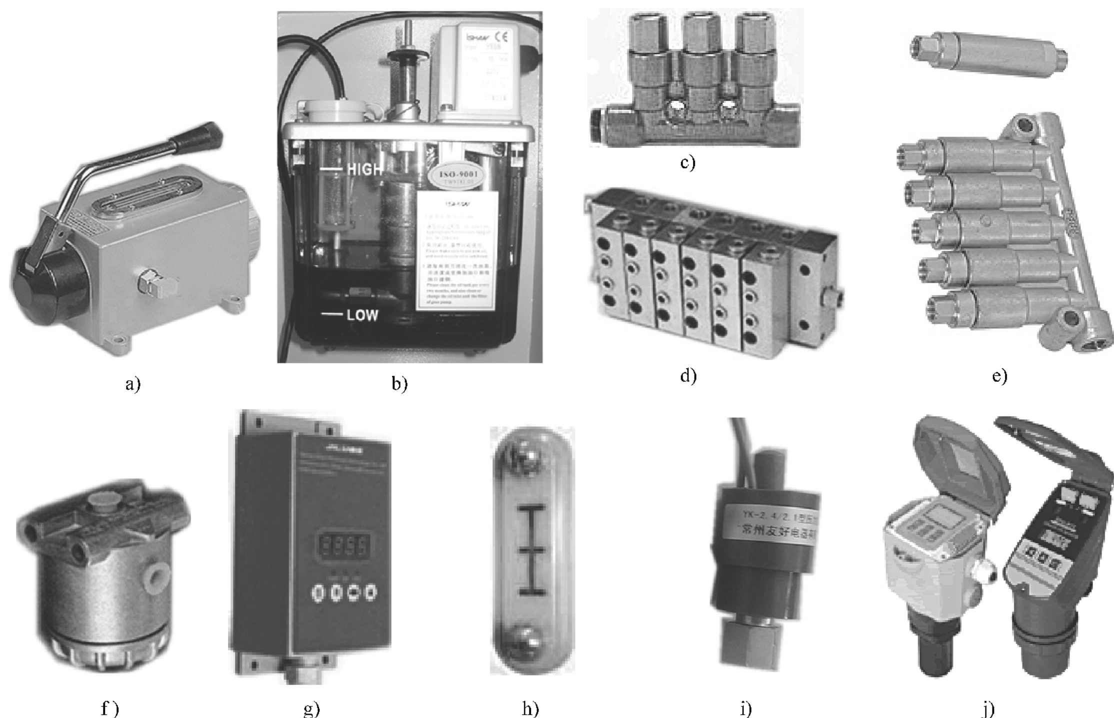


图 4-84　现代机床润滑系统的组成

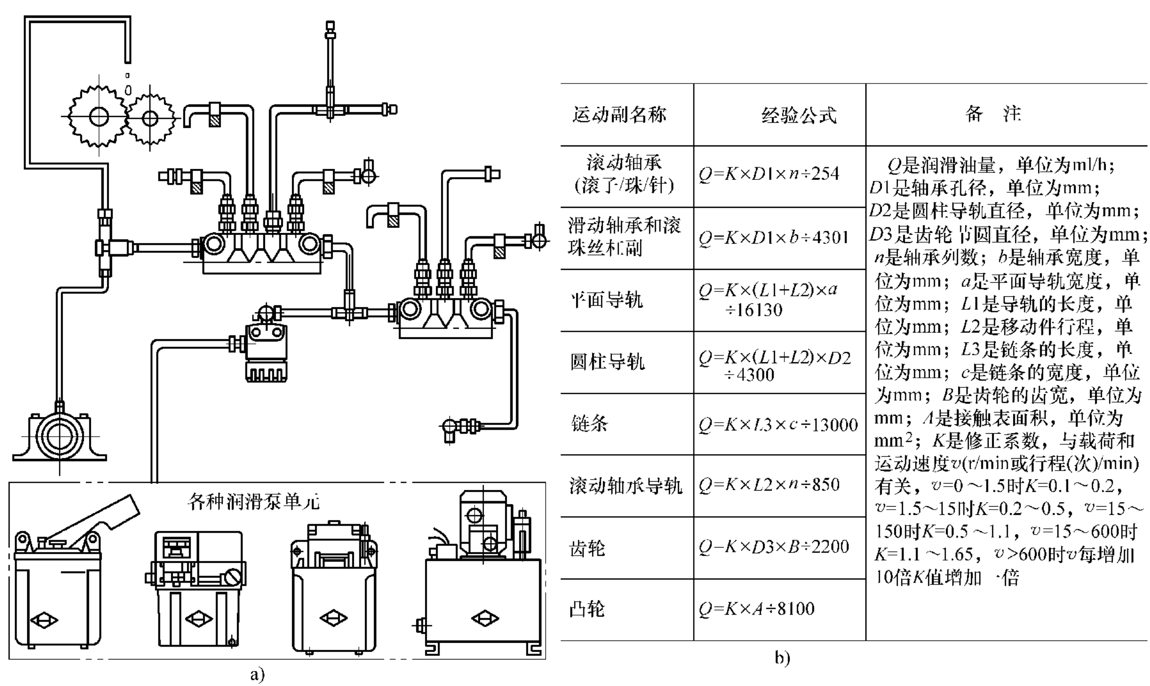
a）手动润滑泵　b）电动润滑泵单元　c）阻尼式分配器　d）递进式分配器　e）容积式分配器
f）滤油器　g）时间程控器　h）长形油标指示　i）润滑泵压力开关　j）超声波液位计

4.2.1　润滑系统的分类

目前，现代机床的润滑系统绝大多数为可实现定时、定量控制的集中润滑系统。根据所用润滑元件（油量分配器）的不同可将其分为阻尼式润滑系统、递进式润滑系统和容积式润滑系统及油气式润滑系统，根据系统形式的不同可将其分为单线式润滑系统（即通过 1 条主管路向油量分配器供应润滑介质）、双线式润滑系统（即在换向阀的换向作用下由润滑泵对 2 条主管路交替注压并将润滑介质输送至双向分配器）和多线式润滑系统（即通过润滑泵上的多个出油口将润滑介质经各管路直接送至润滑点）。

（1）阻尼式润滑系统　阻尼式润滑系统是通过阻尼式分配器将润滑泵（带过滤功能且过滤精度一般为 40μm）输出的一定排量和压力（如 0.17～1.5MPa）的润滑油按比例分配至各润滑点的一种低压型润滑系统（见图 4-85）。其中阻尼式分配器由计量件或控制件与分油块组成，有单向分流和双向分流两种形式。此系统既可通过计量件将周期工作的润滑泵所提供润滑油按比例分配至各润滑点以实现周期润滑，也可通过控制件将连续工作的润滑泵所提供润滑油按比例分配至各润滑点以实现连续润滑，同时润滑点的供油通过计量件或控制件控制而与润滑点至润滑泵的距离远近无关。它的分配系统可使油路在任何一处分流以使系统中每个润滑点（通常 1～50 处）均得到供油，并采用卡套连接式或快速装拆式来连接油管。因系统中某一点的润滑堵塞时不会影

响其他点的正常润滑而使得阻尼式润滑系统的应用非常灵活广泛，如滚动轴承、滑动轴承、传动齿轮、链条、凸轮和导轨等各类运动副的润滑。



运动副名称	经验公式	备　注
滚动轴承(滚子/珠/针)	$Q=K\times D1\times n\div 254$	Q是润滑油量，单位为ml/h；$D1$是轴承孔径，单位为mm；$D2$是圆柱导轨直径，单位为mm；$D3$是齿轮节圆直径，单位为mm；n是轴承列数；b是轴承宽度，单位为mm；a是平面导轨宽度，单位为mm；$L1$是导轨的长度，单位为mm；$L2$是移动件行程，单位为mm；$L3$是链条的长度，单位为mm；c是链条的宽度，单位为mm；B是齿轮的齿宽，单位为mm；A是接触表面积，单位为mm^2；K是修正系数，与载荷和运动速度v(r/min或行程(次)/min)有关，$v=0\sim1.5$时$K=0.1\sim0.2$，$v=1.5\sim15$时$K=0.2\sim0.5$，$v=15\sim150$时$K=0.5\sim1.1$，$v=15\sim600$时$K=1.1\sim1.65$，$v>600$时v每增加10倍K值增加一倍
滑动轴承和滚珠丝杠副	$Q=K\times D1\times b\div 4301$	
平面导轨	$Q=K\times(L1+L2)\times a\div 16130$	
圆柱导轨	$Q=K\times(L1+L2)\times D2\div 4300$	
链条	$Q=K\times L3\times c\div 13000$	
滚动轴承导轨	$Q=K\times L2\times n\div 850$	
齿轮	$Q-K\times D3\times B\div 2200$	
凸轮	$Q=K\times A\div 8100$	

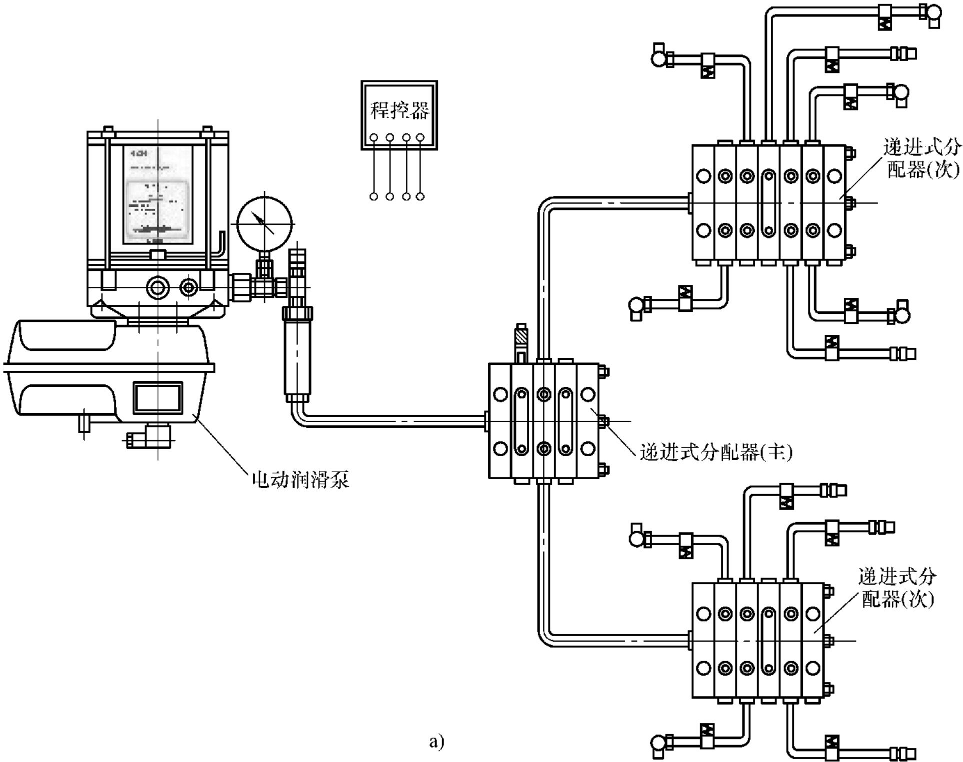
b)

图 4-85　单线阻尼式润滑系统

a）润滑系统连接图　b）各类运动副所需稀油润滑量的经验计算公式

（2）递进式润滑系统　递进式润滑系统是通过组合型或一体型的递进式分配器将润滑泵输出的 1～6MPa 甚至 21MPa 压力的润滑油以 1～3 级递进方式（一系列活塞按一定顺序差动往复运动使各出油口按既定顺序依次出油）分散至几个或数百个给油部位的一种亲环境（指通过最小量润滑剂获得最大润滑效果的同时有效减少润滑剂对环境造成的污染及废物处理）的中、高压型润滑系统（见图 4-86）。其中组合型递进式分配器由 1 块底板、1 块端板和 3～8 块中间板组成，并由分配器内柱塞的动作次数来控制润滑泵的启动与停止以确保准确计量供应分配器的油量及确认管路和分配器动作无异常从而做到准确润滑。此系统既可进行周期供油也可近似连续地供油，既可用于稀油润滑又可用于油脂润滑。此系统具有定量准确（每个出油口的排量主要取决于分配器内活塞的行程与截面积，且排量可通过短接出油口来调整）和监控报警（通过配备给油指示杆和堵塞控制器对整个系统进行监控，一旦系统堵塞或某一点不出油则指示杆停止运动，堵塞控制器立即报警并指示堵塞位置）等特点，可广泛用于各种大、中、小型及重型机械设备上回转部位或滑动部位的润滑。

（3）容积式润滑系统　容积式润滑系统是通过定量阀型的容积式分配器将润滑泵输出的一定排量（约 0.025～1.6mL）和压力（如 1.75～3.5MPa）的润滑油精确定量地分配至几个或几百个润滑点的一种周期性润滑系统（见图 4-87）。其中定量阀型分配器由上下 2 个油腔组成，系统高压时油液被打至润滑点，低压时靠自身弹簧复位和碗形密封将存于下腔的油液压入上腔（排油腔）。此系统因润滑点数与供油量调整方便及性能可靠而广泛用于要求精确供油的中小型设备上。



a)

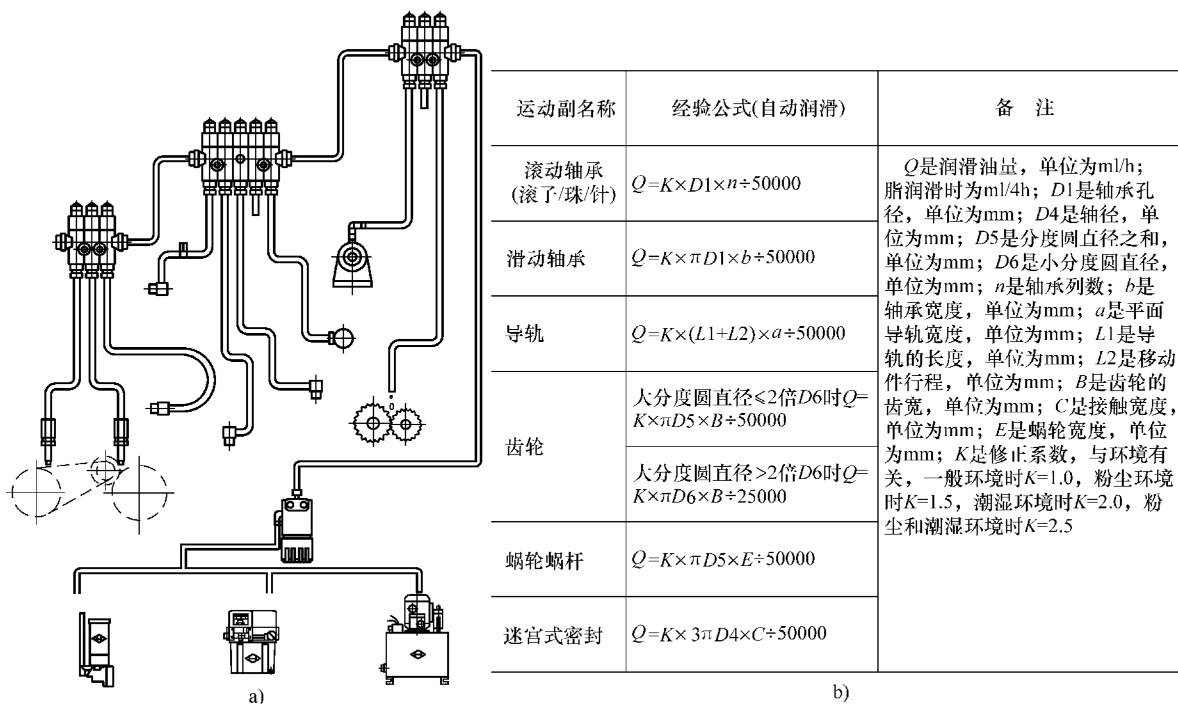
运动副名称	经验公式(自动润滑)	备　注
滚动轴承(滚子/珠/针)	$Q=K\times D1\times n\div 50000$	Q是润滑油量，单位为ml/h；脂润滑时为ml/4h；$D1$是轴承孔径，单位为mm；$D4$是轴径，单位为mm；$D5$是分度圆直径之和，单位为mm；$D6$是小分度圆直径，单位为mm；n是轴承列数；b是轴承宽度，单位为mm；a是平面导轨宽度，单位为mm；$L1$是导轨的长度，单位为mm；$L2$是移动件行程，单位为mm；B是齿轮的齿宽，单位为mm；C是接触宽度，单位为mm；E是蜗轮宽度，单位为mm；K是修正系数，与环境有关，一般环境时K=1.0，粉尘环境时K=1.5，潮湿环境时K=2.0，粉尘和潮湿环境时K=2.5
滑动轴承	$Q=K\times \pi D1\times b\div 50000$	
导轨	$Q=K\times (L1+L2)\times a\div 50000$	
齿轮	大分度圆直径≤2倍$D6$时$Q=K\times \pi D5\times B\div 50000$	
	大分度圆直径>2倍$D6$时$Q=K\times \pi D6\times B\div 25000$	
蜗轮蜗杆	$Q=K\times \pi D5\times E\div 50000$	
迷宫式密封	$Q=K\times 3\pi D4\times C\div 50000$	

b)

图 4-86　递进式润滑系统

a）润滑系统连接图　b）各类运动副所需稀油润滑量的经验计算公式

（4）油气式润滑系统　油气式润滑（又称气液两相流体冷却润滑）系统主要由油液供给分配装置、气体供给装置、油气混合装置和传输管路及电气监控装置等构成（见图 4-88）。其中油液的供给是通过润滑泵站向 1 个或多个卫星站供油并由卫星站上的分配器将润滑油按量分配至各



运动副名称	经验公式(自动润滑)	备　注
滚动轴承(滚子/珠/针)	$Q=K\times D1\times n\div 50000$	Q是润滑油量，单位为ml/h；脂润滑时为ml/4h；$D1$是轴承孔径，单位为mm；$D4$是轴径，单位为mm；$D5$是分度圆直径之和，单位为mm；$D6$是小分度圆直径，单位为mm；n是轴承列数；b是轴承宽度，单位为mm；a是平面导轨宽度，单位为mm；$L1$是导轨的长度，单位为mm；$L2$是移动件行程，单位为mm；B是齿轮的齿宽，单位为mm；C是接触宽度，单位为mm；E是蜗轮宽度，单位为mm；K是修正系数，与环境有关，一般环境时K=1.0，粉尘环境时K=1.5，潮湿环境时K=2.0，粉尘和潮湿环境时K=2.5
滑动轴承	$Q=K\times \pi D1\times b\div 50000$	
导轨	$Q=K\times(L1+L2)\times a\div 50000$	
齿轮	大分度圆直径≤2倍$D6$时$Q=K\times\pi D5\times B\div 50000$	
	大分度圆直径>2倍$D6$时$Q=K\times\pi D6\times B\div 25000$	
蜗轮蜗杆	$Q=K\times \pi D5\times E\div 50000$	
迷宫式密封	$Q=K\times 3\pi D4\times C\div 50000$	

图4-87　容积式润滑系统

a）润滑系统连接图　b）各类运动副所需稀油润滑量的经验计算公式

润滑点，气体供给装置是将来自供气系统的压缩空气（压力>0.5MPa）进行过滤和减压等控制后送入油气混合装置，而油气混合装置则是将润滑油和压缩空气进行混合形成具有冷却和湿润特性的油气流，并在压缩空气的作用下使油气流沿管壁波浪形地前进至各润滑点。此系统具有油液呈滴状（未被雾化）进入润滑点而不污染环境、极其微量的润滑既不会产生多余的热量又可有效降低润滑剂的消耗、压缩空气既能使轴承更好地散热又可在轴承座内形成一定背压（如0.02～0.03MPa）以阻止外界污物的侵入，以及持续保持摩擦副获得新鲜润滑剂等优点，可适用于高温、重载、高速或极低速以及轴承座有水和污物等侵入（环境比较恶劣）的场合，如深孔加工刀具的冷却和加工中心等数控机床高速主轴的润滑。

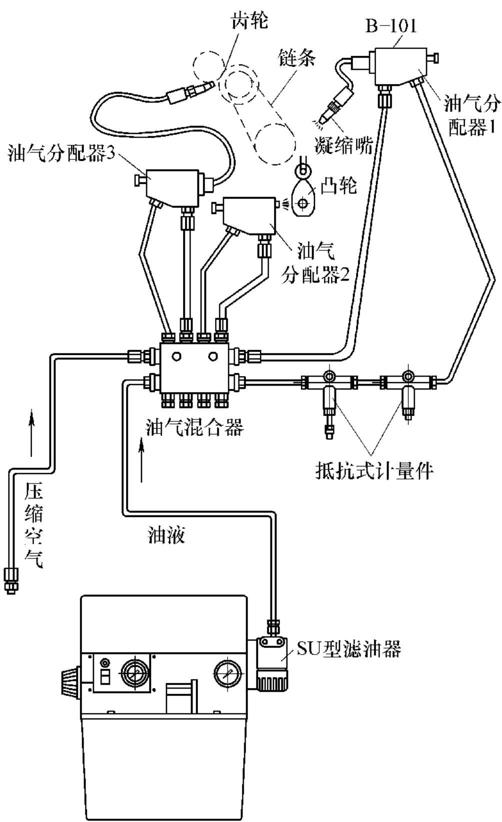


图4-88　油气式润滑系统

4.2.2　润滑系统在YKX3132M型数控滚齿机上的应用

YKX3132M型数控滚齿机（详见第2.2.2节）的润滑系统分为自制型连续润滑系统和间歇式周期性润滑系统两部分（见图4-89），其中前

者用于机床立柱、工作台及径向进给的润滑，后者用于机床导轨和滚珠丝杠螺母副的润滑。同时该机床的润滑系统带有监控检测装置，当润滑系统压力过低或润滑不充分及启动和工作条件不满足时发出报警使机床不能启动。

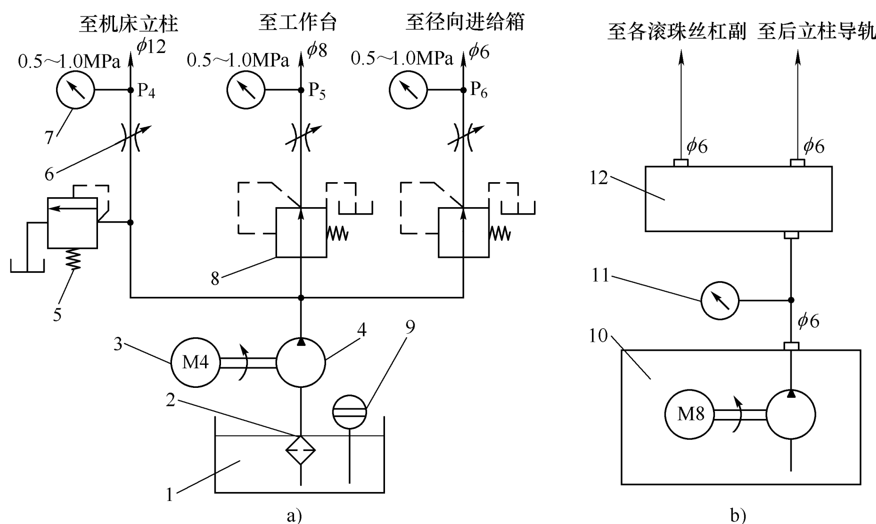


图 4-89 YKX3132M 型数控滚齿机的润滑原理图

a）连续润滑系统原理图 b）间歇式周期性润滑系统原理图

1—油箱 2—吸油过滤器（XU－B50×100） 3—三相异步电动机（Y90L－4/B5） 4—摆线齿轮泵 5—溢流阀（DGMC－3－PT－BW－B－40） 6—节流阀（DGMFN－3－Z－PW－40） 7、11—压力表（YN－60/4MPa） 8—减压阀（DGMX2－3－PP－BH－B－40） 9—液位计（YWZ－80T） 10—集中润滑站（18206A－1） 12—定量注油器

（1）连续润滑系统的控制过程（见图 4-90） 关好机床电控柜门并打开隔离开关 QS1（100A）和断路器 QF1（60A）→将三相 AC380V 电源引入机床→依次按下 MCP 上［NC 启动］按键 SB1 和［液压启动］按键 SB3→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T3 向 PLC 输入 I0.0＝1 信号→PLC 逻辑处理后 Q2.0 线圈通电保持并经 X222 插口的端子 T31 向外输出→中间继电器 KA1 线圈（24V）得电常开触点闭合→接触器 KM4 线圈（AC220V）通电主触点闭合→三相异步润滑电动机 M4（Y90L－4/B5）接通三相 AC380V 电源而旋转并带动摆线齿轮泵一同运转以重复吸油和压油过程→在溢流阀 DGMC－3－PT－BW－B－40 的调节下形成连续润滑系统的压力并分别向机床立柱、工作台和径向进给箱连续提供润滑油（20#或 30#机械油并回收循环）→分别调节 3 条支路上的节流阀 DGMFN－3－Z－PW－40 可实现进油路调速→一旦按下 MCP 上［液压停止］按键 SB4（接常闭触点）→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T4 向 PLC 输入 I0.1＝0 信号使处于通电状态的线圈 Q2.0＝0→KA1 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点呈断开状态→AC220V 电源停止向 KM4 线圈供电使其处于闭合状态的常开主触点呈断开状态→连续润滑电动机 M4 停止旋转。

（2）间歇式周期性润滑系统的控制过程 该机床采用贝奇尔 VERSA Ⅲ型 18206A－1 电动润滑泵（见图 4-91）对各滚珠丝杠螺母副和后立柱导轨进行间歇式周期性润滑，不仅可通过泵上的 SM－AC 型程控器来实现油罐内液位和输油系统压力的监控以及润滑周期的（如每隔 30min 启动 1 次而每启动一次持续运转 10s）设定，还可通过 S7－200PLC 来进行润滑周期的设定与控制。下面就 S7－200PLC 控制的间歇式润滑过程，给予简单介绍（见图 4-90c）。

1）开机初始润滑 30s：伴随着 Q2.0 线圈通电保持其常开触点闭合→S7－200PLC 内的延时定

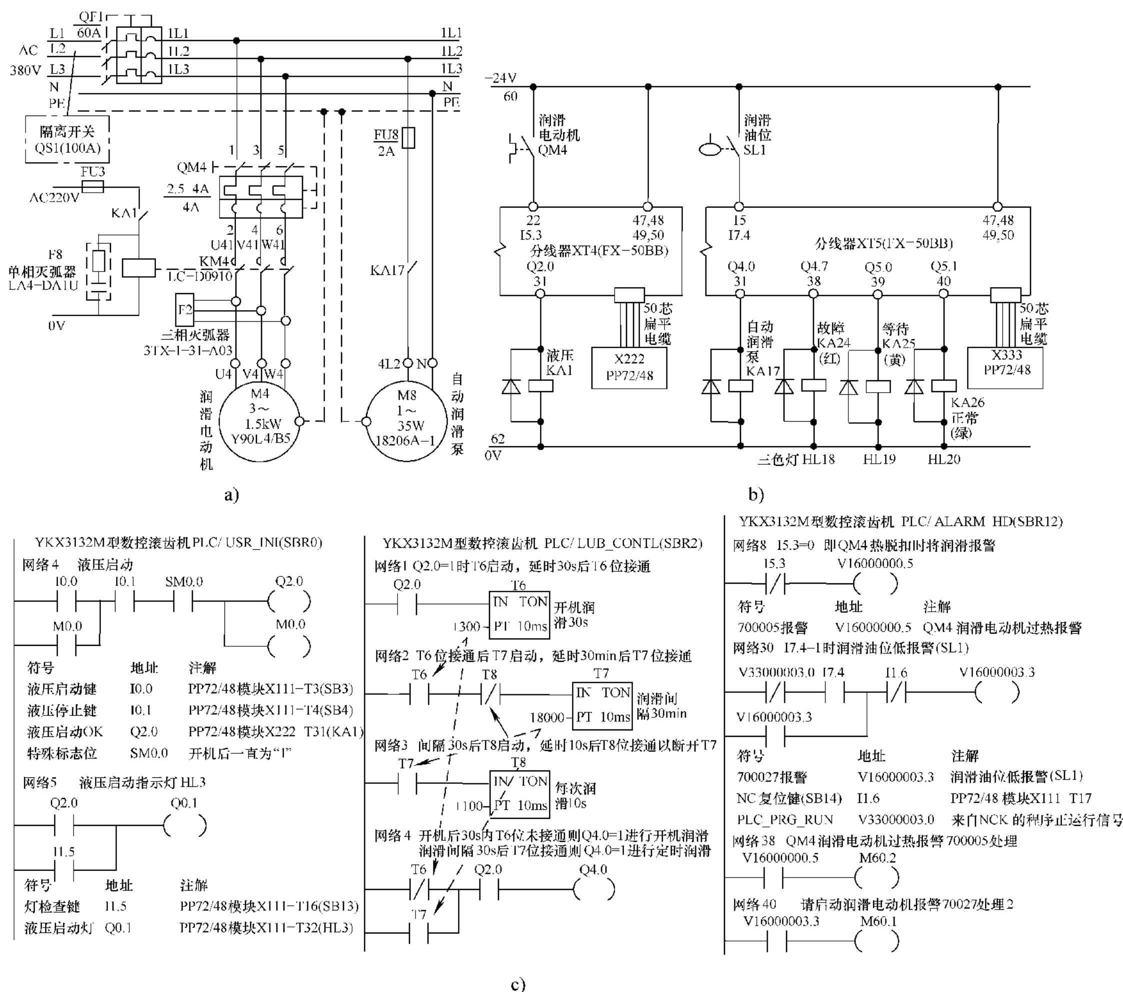


图 4-90　YKX3132M 型数控滚齿机润滑系统的控制电路及 PLC 程序

a）润滑泵电动机的主回路　b）润滑泵电动机的辅助控制回路　c）润滑泵电动机控制的 PLC 程序（S7－200）



a)

理　论 流　量	108ml/min	电动机 电　压	AC220V
最高注 油压力	2.5MPa	电动机 功　率	35W
可润滑 点　数	1～180 个	程控器	SM-AC
润滑油 牌　号	20～320	重　量	4kg
油　罐 容　积	4L	油　罐 材　质	塑料罐 金属罐

b)

图 4-91　贝奇尔 VERSA Ⅲ型 18206A－1 电动润滑泵

a）18206A－1 电动润滑泵实物　b）18206A－1 电动润滑泵技术参数

时器 T6 启动并延时 30s 使负逻辑$\overline{\text{T6}}$在 30s 内呈 ON→如此线圈 Q4.0＝1 并经 PP72/48 模块上 X333 插口的端子 T31 向外输出→中间继电器 KA17 线圈（24V）得电常开触点闭合→AC220V 电源引入润滑泵电动机 M8 并使其带动齿轮泵一起旋转以重复吸油和压油过程→通过容积式定量注油器

将润滑油（不再回收的20#或30#机械油）定量分配至各滚珠丝杠螺母副和后立柱导轨上进行开机后持续30s的初始润滑→一旦T6延时超过30s则T6的常开触点闭合而常闭触点断开→使处于通电状态的线圈Q4.0失电→中间继电器KA17断电使其处于闭合状态的常开触点断开→切断润滑泵电动机M8的AC220V电源使其停转→开机初始润滑30s结束。

2）机床运行中的间歇周期润滑：T6延时30s后持续计时（最大到3276.7s）使T6的常开触点一直呈闭合状态→S7-200PLC内的延时定时器T7启动并延时30min（1800s）使电动润滑泵处于停转等待润滑状态→润滑间隔30min后T7的常开触点闭合使延时定时器T8启动并延时10s→同时线圈Q4.0得电间接使电动机M8接通AC220V电源而带动齿轮泵运转对润滑点供油→T8延时超10s后持续计时使T8的常闭触点断开而切断定时器T7→如此处于通电状态的线圈Q4.0失电使润滑泵电动机M8因AC220V电源被切断而停转→一个间歇润滑过程结束。

（3）润滑系统异常状况的监控（见图4-90）

① 当润滑电动机M4因缺相运行、绕组匝间短路或长期过载运行而出现过电流时→电动机断路器QM4（GV2-M08C）将由接通状态跳转为断开状态→由PP72/48模块上X222插口的端子T22向PLC输入I5.3=0信号→V16000000.5接通并通过接口信号传递至HMI，并在802Dsl系统的PCU面板上显示“700005：QM4润滑电动机过热报警”→伴随着V16000000.5=1→在S7-200PLC内经过M60.2和M60.0而接通Q0.2和Q4.7并分别经由PP72/48模块上X111插口中端子T33和X333插口中端子T38向外输出→如此MCP上的［机床故障］指示灯HL4点亮呈红色，且机床三色指示灯的HL18呈红色报警状态闪烁。

② 当连续润滑系统因各管接头或配合处密封不良出现润滑油泄漏或油箱自身泄漏而导致油箱内润滑油的液面低于液位开关SL1允许的高度时→由PP72/48模块上X333插口的端子T15向PLC输入I7.4=1信号→V16000003.3接通并通过接口信号传递至HMI，并在802Dsl系统的PCU面板上显示“700027：SL1润滑油位低报警”→后续为MCP［机床故障］指示灯HL4和机床三色指示灯HL18的点亮控制。

（4）润滑不良导致滚珠丝杠螺母副故障的常见现象及处理方法　见表4-40。

表4-40　润滑不良导致滚珠丝杠螺母副故障的常见现象及处理方法

序号	润滑不良造成的故障现象	润滑不良的故障原因及处理方法
1	反向误差过大，加工精度不稳定	1）油量分配器堵塞时应进行疏通，堵塞严重不能修复时应更换新件 2）润滑管路堵塞时应排除管路内的污物，疏通油管，必要时更换新管 3）润滑单元的过滤网堵塞时，可用干净清洗油清洗过滤网或用现场高压风吹掉滤网上的污物 4）润滑油管因碰伤而破裂或支路毛细润滑管断裂等造成泄漏时，应更换油管或毛细润滑管 5）集中润滑装置不工作时，按下润滑装置上的“强启动”按钮，若油泵工作则为滤网堵塞或油路不畅；若油泵不启动，查看电动机是否损坏或PLC逻辑信号是否输出等；若电动机运转正常但输出油量不足或显著减少时，可参照第4.1.1节“液压动力元件及故障”中相关内容进行处理 6）润滑周期设定不合理致丝杠副处于少油状态时，可调节集中润滑装置的程控器使润滑间隔时间缩短及润滑泵每次启动的持续时间延长；对于通过PLC控制的间歇润滑过程，则需借助对应编程软件（如S7-200或S7-300等）来更改内部相应定时器的时间
2	滚珠丝杠副缺油使摩擦阻力增大致运转中转矩过大	
3	滚珠丝杠副缺少润滑或无润滑而有噪声	
4	滚珠丝杠副缺油后锈蚀严重导致转动不灵活	

4.2.3　润滑系统在PF6-S2500数控磨床上的应用

PF6-S2500数控磨床（详见第2.1.2节）的润滑系统分为砂轮主轴静压连续润滑系统和导轨丝杠间歇润滑系统两部分（见图4-92），其中前者用于砂轮主轴轴承的浮力和润滑，后者用于

机床各轴导轨和滚珠丝杠螺母副及头架、尾座的润滑。同时该机床的润滑系统带有监控检测装置，在润滑压力过低、油箱内油液不足、过滤器堵塞或润滑泵电动机运行过载时发出报警使机床立即停止运行。

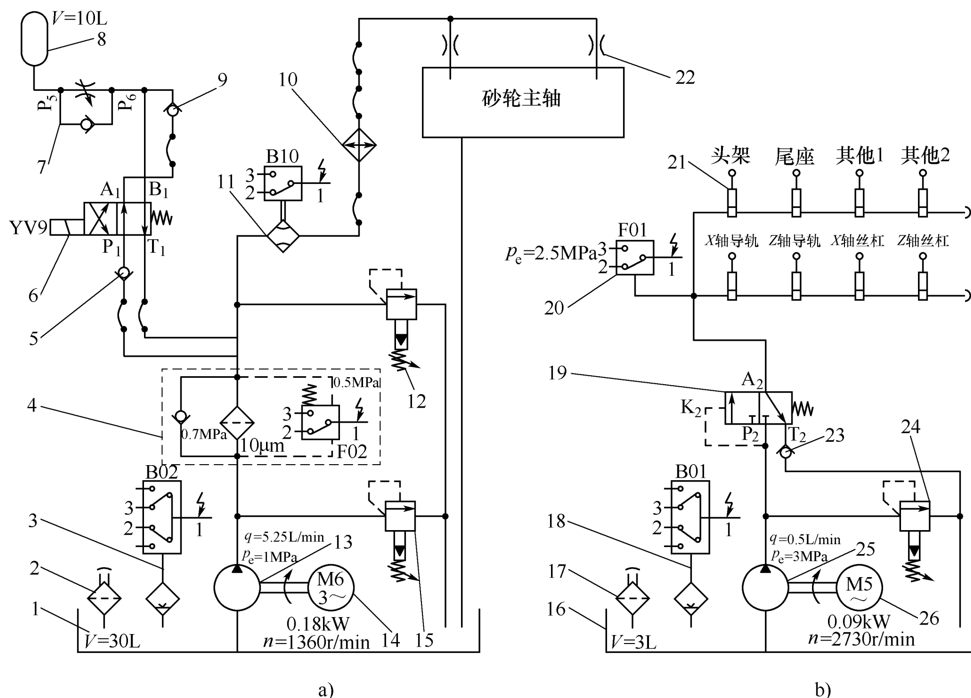


图 4-92　PF6 – S2500 数控磨床的润滑原理图

a）砂轮主轴静压润滑系统原理图　b）导轨丝杠间歇润滑系统原理图

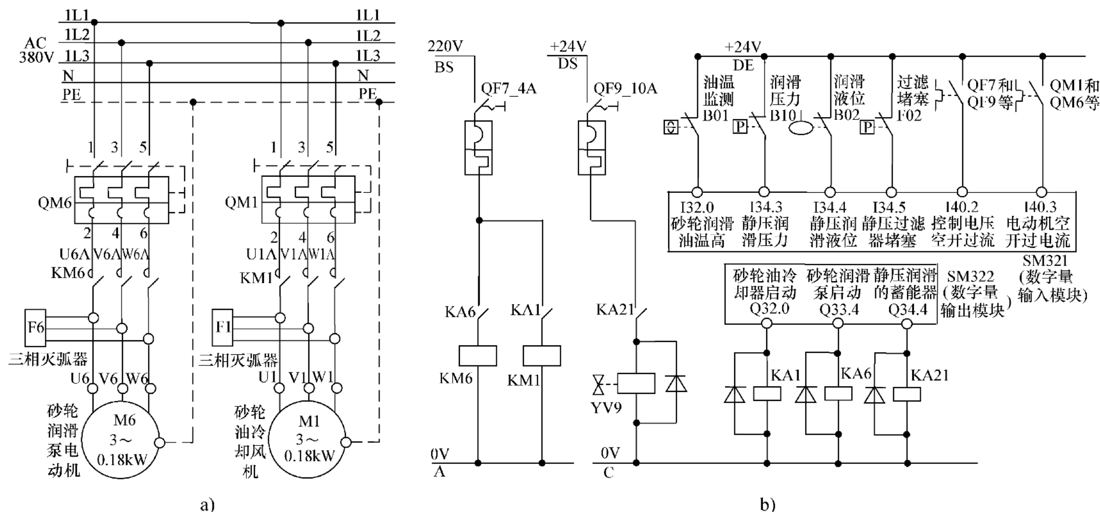
1、16—油箱　2、17—注油过滤器　3、18—液位开关　4—压力过滤器（带堵塞指示）　5、9、23—单向阀　6—二位四通型电磁换向阀　7—可调单向节流阀　8—蓄能器　10—风冷式冷却器　11—流量检测开关　12、15、24—先导式溢流阀　13—砂轮润滑泵（定量泵）　14—润滑泵电动机　19—二位三通型液控换向阀　20—压力检测开关　21—油量分配器　22—节流阀　25—间歇润滑泵（定量泵）　26—间歇润滑泵电动机

（1）砂轮主轴静压润滑系统的控制过程（见图 4-92，图 4-93）：关好机床电控柜门并接通主电源→将三相 AC380V 电源引入机床→释放机械式按键面板 MCP483C 上的急停按钮使 S7 – 300PLC 输入信号 I32.3 = 1→在电动机断路器 QM1 ~ QM7 未过电流的接通状态（PLC 输入信号 I40.3 = 1）下→Q33.4、Q34.4 和 Q32.0 的线圈通电并经 SM322 数字量输出模块向外输出。

1）Q33.4 = 1 时中间继电器 KA6 线圈（DC24V）得电常开触点闭合→接触器 KM6 线圈（AC220V）通电主触点闭合→电动机 M6 接通三相 AC380V 而旋转并带动砂轮润滑泵 13 一同运转以重复吸油和压油过程→静压润滑系统正常工作→一旦急停按钮被压下或电动机断路器过电流→S7 – 300PLC 就使处于通电状态的线圈 Q33.4 = 0→KA6 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点断开→AC220V 停止向 KM6 的线圈供电使其闭合着的主触点断开→砂轮润滑泵电动机 M6 便停止运转。

2）Q34.4 = 1 时中间继电器 KA21 线圈得电常开触点闭合→二位四通型电磁换向阀 6 线圈通电使其推杆推动阀芯向右移动→阀口 P_1 与 B_1 连通、A_1 与 T_1 连通→来自砂轮润滑泵的润滑油便顶开单向阀 5、流经电磁阀 6（P_1 至 B_1）和单向节流阀 7（P_6 至 P_5 反向流动）后对蓄能器 8 进行充液→同时润滑油顶开单向阀 9 后经过电磁阀 6（A_1 至 T_1）、流量检测开关 11 和风冷式冷却器 10 及节流阀 22 而进入砂轮主轴的润滑点→砂轮主轴内的油液回流油箱而实现循环→一旦 Q34.4 = 0（I32.3 = 0 或 I40.3 = 0）使线圈 YV9 断电时电磁阀 6 的阀芯在复位弹簧作用下回至中

间位置→阀口 P_1 与 A_1 连通、B_1 与 T_1 连通→在单向阀 5 和 9 的反向截止作用下蓄能器内储存的润滑油经阀口 B_1 和 T_1 而继续对砂轮主轴的润滑点供油→另外砂轮润滑泵持续供应的润滑油经先导式溢流阀 15 回流油箱。



PF6－S2500数控磨床/FC100“机床面板PLC－MA”

程序段3：砂轮润滑泵(M6)启动

```
// 急停按钮释放且电动机空开未过流的情况下Q33.4=1, Q34.4=1
    A     I     32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
    A     I     40.3          //串联电动机空开过电流的常开触点
    =     Q     33.4          //Q33.4=1时KA6线圈得电常开触点闭
                              //  合，KM6主触点闭合砂轮润滑泵启动
    =     Q     34.4          //Q34.4=1时KA21线圈得电常开触点闭
                              // 合，二位四通型电磁阀YV9得电蓄能器储能
```

程序段4：砂轮油风冷式冷却器(M1)开

```
// 急停按钮释放且电动机空开未过流的情况下Q32.0=1
    A     I     32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
    A     I     40.3          //串联电动机空开过电流的常开触点
    =     Q     32.0          //Q32.0=1时KA1线圈得电常开触点闭合，
                              // KM1主触点闭合砂轮油冷却器启动
```

PF6－S2500数控磨床/FC131“机床报警PLC－NCK”

程序段2：AL700001:砂轮润滑油温度过高 I32.0

```
    AN    I     32.0          // 串联砂轮润滑油温高报警的常闭触点
    A     Q     32.1          // 串联液压电动机启动信号的常开触点
    L     S5T#10M             // 预置值10min送入ACCU1
    SD    T     101           // 接通延迟定时器,10min后其常开触点闭合
    A     T     101           // 串联延迟定时器T101的常开触点
    =     DB2.DBX  180.1      // 向MMC传“700001:砂轮润滑油温度过高”
```

程序段5：AL700004:砂轮主轴静压润滑液位低

```
    AN    I     34.4          // 串联静压润滑液位开关的常闭触点
    =     DB2.DBX  180.4      // 传送“700004:砂轮主轴静压润滑液位低”
```

PF6－S2500数控磨床/FC131“机床报警 PLC－NCK”

程序段6：AL700005:砂轮主轴静压润滑过滤器堵塞

```
    A     Q     33.4          //串联砂轮润滑泵启动信号的常开触点
    AN    I     34.5          //串联静压过滤器堵塞开关的常闭触点
    L     S5T#5S              //预置值5s传送至ACCU1
    SD    T     103           //接通延迟定时器线圈，5s后其常开触点闭合
    A     T     103           //串联延迟定时器T103的常开触点
    =     DB2.DBX  180.5      //向MMC传“700005:砂轮主轴静压过滤器堵塞”
```

程序段8：AL70007:电动机空开过电流报警I40.3

```
    AN    I     40.3          //串联控制电压空开过电流报警信号的常闭触点
    =     DB2.DBX  180.7      //向MMC传送“700007:电动机空开过电流报警”
```

程序段30：AL700033:砂轮主轴静压润滑压力低

```
    A     Q     33.4          // 串联砂轮润滑泵启动信号的常开触点
    AN    I     34.3          // 串联静压润滑压力开关的常开触点
    L     S5T#5S              // 预置值5s传送至ACCU1
    SD    T     116           // 接通延迟定时器，5s后其常开触点闭合
    A     T     116           // 串联延迟定时器T116的常开触点
    =     DB2.DBX  184.1      // 向MMC传“700033:砂轮主轴静压润滑压力低”
```

程序段41：AL700000～AL700015:报警综合状态0

```
    A(                        // 逻辑与嵌套开始
    L     DB2.DBW  180        // 装载DB2.DBW180的数据字至ACCU1
    L     0                   // 预置值0送入ACCU1，DB2.DBW180的值送ACCU2
    ==I                       // 比较ACCU1=ACCU2时,RLO=1
    )                         // 逻辑与嵌套结束
    NOT                       // 将RLO取反
    =     M     93.0          // 对M93.0赋值并输出
```

程序段43：AL700032～AL700047:报警综合状态0

结构与程序段41相同，不同之处是将DB2.DBW184的数据字装载至ACCU1中以及对M93.2赋值并输出。

c)

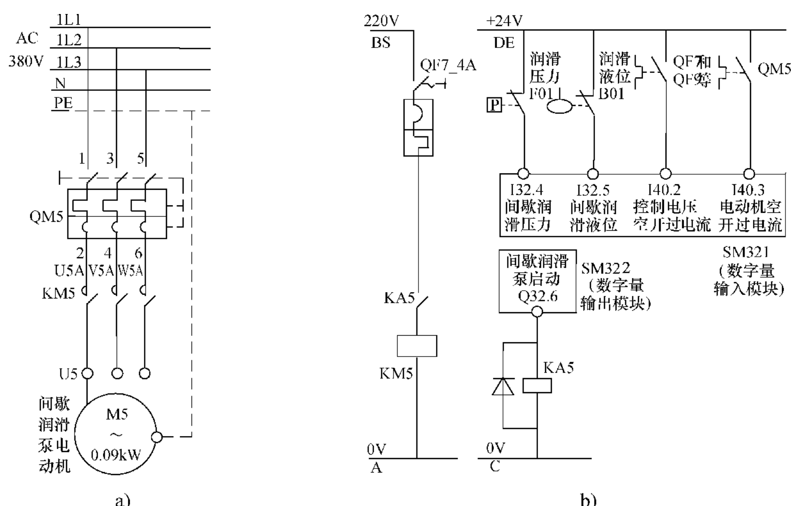
图 4-93 PF6－S2500 数控磨床砂轮主轴静压润滑系统的控制电路及 PLC 程序

a）砂轮润滑泵电动机的主回路 b）砂轮润滑泵电动机的辅助控制回路

c）砂轮主轴静压润滑系统的 PLC 程序（S7－300）

3）Q32.0＝1 时中间继电器 KA1 线圈（DC24V）得电常开触点闭合→接触器 KM1 线圈（AC220V）通电主触点闭合→电动机 M1 接通三相 AC380V 而旋转使风冷式冷却器 10 工作以降低静压润滑油的温度→一旦 Q32.0＝0（I32.3＝0 或 I40.3＝0）→KA1 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点断开→AC220V 停止向 KM1 的线圈供电使其闭合着的主触点断开→砂轮油冷却风机 M1 便停止运转。

（2）导轨丝杠间歇润滑系统的控制过程（见图 4-92、图 4-94） 释放急停按钮使 S7－300PLC 输入信号 I32.3＝1→在电动机断路器 QM1～QM7 未过电流的接通状态（PLC 输入信号



a)　　b)

```
PF6－S2500数控磨床/FC100“机床面板PLC-MA”
程序段5：任何方式下按[手动润滑]键润滑1次且自动润滑时LED22点亮
// 急停按钮释放并按[手动润滑键]后M92.0置位为1并保持
   A    I    32.3              // 串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   A    I     7.2              // 串联MCP上[手动润滑]键常开触点
   S    M    92.0              //M92.0(手动润滑辅助)置位为1并保持
// 润滑1s后,AL700032, 电动机空开过电流，按[RESET]键或急停时M92.0复位
   O    M    200.6             //并联M200.6(持续润滑 1s后泵停转)常开触点
   O    DB2.DBX 184.0          //并联间歇润滑压力异常报警的常闭触点
   O    I     3.7              // 并联MCP上[RESET]复位键的常开触点
   ON   I    40.3              // 并联电动机空开过电流的常闭触点
   ON   I    32.3              // 并联急停按钮(I32.3)的常闭触点
   R    M    92.0              //M92.0(手动润滑辅助)复位为0并保持
程序段6：导轨丝杠间歇润滑泵启动
// 急停释放，电动机空开未过电流且润滑压力准备好及T92未延时1s时M200.5=1
   A    I    32.3              // 串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   A    I    40.3              // 串联电动机空开过电流的常开触点
   AN   M    200.6             // 串联M200.6的常闭触点，持续润滑 1s后T92
                               // 的常开触点闭合使M200.6的常闭触点断开
   AN   DB2.DBX 184.0          //串联间歇润滑压力异常报警的常闭触点
   L    S5T#5M                 // 预置值5min传送至 ACCU1
   SD   T    91                //接通延迟定时器线圈，5min后T91常开触点闭合
   A    T    91                //串联延迟定时器T91的常开触点
   =    M    200.5             //M200.5(间歇润滑泵启动)“通电”
//Q32.6=1使泵启动并润滑1s后对M200.6赋值为1状态
   A    Q    32.6              // 串联间歇润滑泵启动信号的常开触点
   L    S5T#1S                 // 预置值 1s 传送至 ACCU1
   SD   T    92                // 接通延迟定时器 ,1s后T92常开触点闭合
   A    T    92                // 串联延迟定时器T92的常开触点
   =    M    200.6             //M200.6(持续润滑1s后泵停转)“通电”
//急停释放且电动机空开未过电流时M200.5或M92.0=1使Q32.6=1 润滑泵开
   A    I    32.3              // 串联急停按钮 (I32.3)  的常开触点
   A    I    40.3              // 串联电动机空开过电流的常开触点
   A(                          // 逻辑与嵌套开始
   O    M    200.5             //串联M200.5(间歇润滑泵启动)常开触点
```

```
PF6－S2500数控磨床/FC100“机床面板PLC-MA”
程序段6：导轨丝杠间歇润滑泵启动
   O    M    92.0              //串联M92.0(手动润滑辅助)常开触点
   )                           //逻辑与嵌套结束
   =    Q    32.6              //Q32.6=1时KA5线圈得电常开触点
                               // 闭合,KM5主触点闭合电动机M5启动
//Q32.6=1时MCP上[手动润滑]按键指示灯 LED22点亮
   A    Q    32.6              //串联Q32.6 的常开触点
   =    Q     5.2              //Q5.2线圈“通电”以点亮 LED22
// 持续润滑1s后M200.6=1时将定时器T91复位并保持
   A    M    200.6
   R    T    91
```

```
PF6－S2500数控磨床/FC131“机床报警PLC-NCK”
程序段4：  AL700003: 导轨丝杠间歇润滑液位低
   AN   I    32.5              //串联间歇润滑液位开关的常闭触点
   A    Q    32.1              //串联液压电动机启动信号的常开触点
   =    DB2.DBX 180.3   //向MMC传“700003: 导轨丝杠间歇润滑液位低”
程序段29：  AL700032: 导轨丝杠间歇润滑压力低
   A    Q    32.6              //串联间歇润滑泵启动信号的常开触点
   AN   I    32.4              //串联间歇润滑压力开关的常开触点
   L    S5T#10S                // 预置值10s传送至 ACCU1
   SD   T    115               //接通延迟定时器 ,10s后T115常开触点闭合
   A    T    115               //串联延迟定时器T115的常开触点
   S    DB2.DBX 184.0   // 向MMC传“700032: 导轨丝杠间歇润滑压力低”
// 电动机空开过电流，急停，润滑1s后，按[报警应答]
// 或[RESET]按键时急停时AL700032报警复位
   ON   I    40.3              //并联电动机空开过电流的常闭触点
   ON   I    32.3              // 并联急停按钮(I32.3)的常闭触点
   O    M    200.6             // 并联M200.6(持续润滑1s后泵停转)常开触点
   O    M    81.0              // 并联M81.0(MCP上[报警应答]或
                               //[RESET]按键辅助)的常开触点
   R    DB2.DBX 184.0          //AL700032 报警复位
```

c)

图4-94　PF6－S2500数控磨床导轨丝杠间歇润滑系统的控制电路及PLC程序

a）间歇润滑泵电机的主回路　b）间歇润滑泵电动机的辅助控制回路　c）导轨丝杠间歇润滑系统的PLC程序（S7－300）

I40.3＝1）下→延迟定时器T91设定的润滑间隔5min计时到达后T91的常开触点闭合使M200.5线圈通电，进而Q32.6线圈通电并经SM322数字量输出模块向外输出，同时MCP上［手动润滑］按键指示灯点亮→中间继电器KA5线圈（DC24V）得电常开触点闭合→接触器KM5线圈（AC220V）通电主触点闭合→电动机M5接通AC220V而旋转并带动间歇润滑泵25一同运转以重

复吸油和压油过程→间歇润滑系统工作→二位三通型液控换向阀在 K2 口控制压力作用下阀芯向右移动使阀口 P_2 与 A_2 连通、T_2 关闭→来自间歇润滑泵的润滑油便经液控换向阀 25 后到达导轨丝杠等润滑点→延迟定时器 T92 设定的持续润滑时间（1s）计时到达后 T92 的常开触点闭合使 M200.6 线圈通电→M200.6 的常闭触点断开使 M200.5 线圈失电进而 Q32.6 = 0→被间接控制的间歇润滑泵电动机 M5 便停止运转→一个间歇润滑过程结束。另外还可通过 MCP 上的［手动润滑］按键来控制间歇润滑泵的启动，即按下该键间歇润滑执行 1 次。其控制过程可依据 PLC 程序进行分析，在此不再赘述。

（3）润滑系统异常状况的监控

1）过载监控：在 PF6 - S2500 数控磨床的润滑系统中分别将砂轮油冷却风机 M1、间歇润滑泵电动机 M5 和静压润滑泵电动机 M6 的断路器 QM1、QM5 和 QM6 的热过载触点串联在一起作为 S7 - 300PLC 的输入信号（I40.3）→一旦润滑泵电动机因缺相运行、绕组匝间短路或长期过载运行而出现过电流时→对应的电动机断路器 QM 将由接通状态跳转为断开状态并经 SM321 数字量输入模块向 S7 - 300PLC 输入 I40.3 = 0 信号→PLC 逻辑处理后通过接口信号 DB2.DBX180.7 向 MMC 传送“700007：电动机空开过电流报警 I40.3”，并在 840D 系统的 OP010 显示器上显示→伴随 I40.3 = 0 线圈 Q33.4、Q34.4、Q32.0 和 Q32.6 均失电→被间接控制的电动机 M6、M1 和 M5 停止运转，以及线圈 YV9 失电使蓄能器由充液状态转为能量释放。

2）液面监控：作为消耗品的润滑油（即使循环使用也会因管接头或配合处密封不良及油管破裂引起油液泄漏等而造成损耗）在机床工作一段时间后油箱内的润滑油会逐渐减少→若油箱内润滑油得不到及时添加使液面到达最低油位时→液面检测开关（亦称液位开关）随即动作并将此信号反馈至 PLC 系统进行处理→PF6 - S2500 数控磨床的润滑系统中静压润滑油箱和间歇润滑油箱内的液位低而分别使 I34.4 = 0 和 I32.5 = 0，并经 SM321 数字量输入模块向 S7 - 300PLC 输入→PLC 逻辑处理后通过接口信号 DB2.DBX180.4 和 DB2.DBX180.3 分别向 MMC 传送报警“700004：砂轮主轴静压润滑液位低”和“700003：导轨丝杠间歇润滑液位低”，并在 840D 系统的 OP010 显示器上显示→待操作者及时补足油液后通过按下 MCP 上［报警应答］或［RESET］按键可消除报警以继续使机床运转。

3）压力监控：通常需要在润滑泵的出口处或润滑点的入口前以及粗精过滤器侧安装压力检测开关→以检测润滑系统的压力和进入润滑点的压力进而判定润滑泵的油液输出是否正常、润滑管路是否畅通/有无泄漏以及过滤器是否被堵塞（含滤芯容量不足）等→同时将压力检测开关的动作信号反馈至 PLC 系统进行处理→PF6 - S2500 数控磨床的润滑系统中静压润滑压力低和间歇润滑压力低及过滤器堵塞而分别使 I34.3 = 0，I32.4 = 0 与 I34.5 = 0，并经 SM321 数字量输入模块向 S7 - 300PLC 输入→PLC 逻辑处理后通过接口信号 DB2.DBX184.1 和 DB2.DBX184.0 及 DB2.DBX180.5 分别向 MMC 传送报警“700033：砂轮主轴静压润滑压力低”和“700032：导轨丝杠间歇润滑压力低”以及“700005：砂轮主轴静压润滑过滤器堵塞”并在 840D 系统的 OP010 显示器上显示。

4.3 气动系统及故障

气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量传递、转换和控制的一种传动形式，因其所需的空气介质来源方便、不污染环境、工作速度快及动作频率高，而被广泛用于数控机床上以完成频繁起动的辅助动作（见图 4-95），如机床防护门的自动开/关、主轴锥孔的吹气（吹掉积屑等污物）和定位基准面的自动吹屑清理以及在部分小型加工中心上通过气液转换装置实现机械手的换刀、上下料和主轴松刀等。在图 4-95 中，YP1 得电，阀芯右移使 P_1 与 A_1 接通而吹气；YP1 失电，在弹簧作用下阀芯回至常闭位置。YP2 得电，阀芯右移使 B_2 与 S_2 及 A_2 与 P_2 接通、R_2 关

闭，活塞缸下腔进气而拉紧刀具；YP3 得电，阀芯左移使 B_2 与 P_2 及 A_2 与 R_2 接通、S_2 关闭，活塞缸上腔进气而松开刀具。

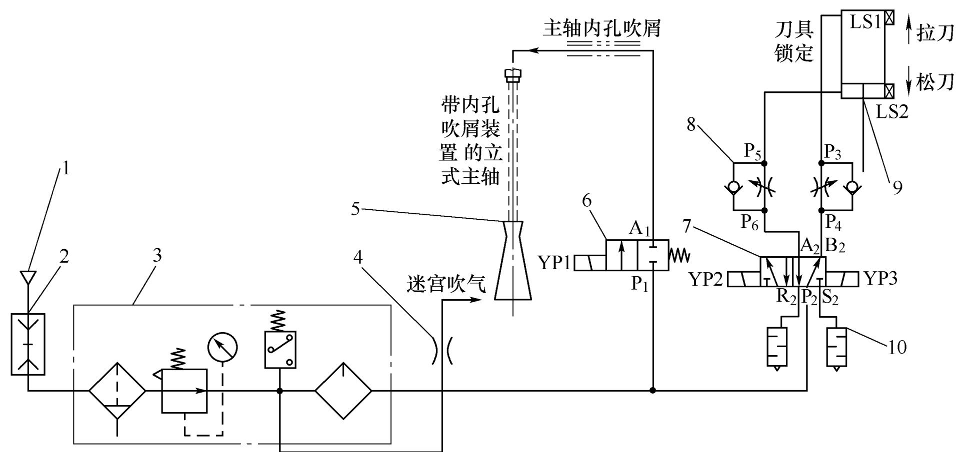


图 4-95　TMV1350A 立式加工中心的气动原理图

1—气源　2—快速接头　3—气动三联体　4—节流阀　5—主轴部件　6—二位二通型电磁换向阀　7—二位五通型电磁换向阀　8—气动单向节流阀　9—单杆双作用活塞缸　10—消声器

4.3.1　气动系统的组成及特点

（1）气动系统的组成　气动系统是以压缩空气为工作介质，依靠空气的压力和体积分别传递动力和运动的一种装置，它主要由气源装置（即气压发生装置）、控制元件、执行元件和辅助元件四部分组成（见图 4-96）。其中气源装置是通过各种形式的空气压缩机等设备来获取压缩空气的装置，它可将电动机或其他原动机输出的机械能转变为空气的压力能并向系统提供一定流量和压力的气体；控制元件是根据数控机床的实际需求，通过数字化电信号等方式对气动系统中的气体压力和流量及气流方向进行控制和调节的各种阀类元件（如压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等）；执行元件是在气体的推动下由气缸或气马达向外输出运动和速度以驱动工作部件（即负载）实现直线/回转运动，从而将空气的压力能转换为机械能；辅助元件是用于辅助保证气动系统正常工作的一些装置，如过滤器、干燥器、消声器和油雾器等。

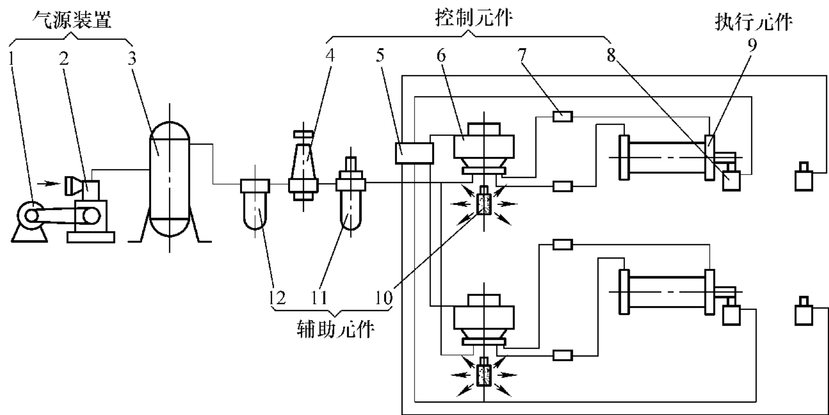


图 4-96　典型气动系统的组成

1—电动机　2—空气压缩机　3—储气罐　4—压力控制阀（减压阀）　5—逻辑元件　6—方向控制阀　7—流量控制阀　8—机控阀　9—气缸　10—消声器　11—油雾器　12—空气过滤器

（2）气动系统的优缺点及维护要点　见表 4-41。

表 4-41　气动系统的优缺点及维护要点

<table>
<tr><th>明细</th><th>详 细 内 容</th><th>维 护 要 点</th></tr>
<tr><td rowspan="5">优点</td><td>1）以空气为工作介质，来源方便，用后排气处理简单（不用回收）且不污染环境</td><td rowspan="2">应保证供给洁净的压缩空气，以免压缩空气中混入水分（在一定条件下凝结成水并积聚在系统的某些部位而腐蚀管道、气阀和气缸）、油分（形式为一种有机酸可使橡胶、塑料和密封材料变质及可能引发爆炸）和粉尘（沉积在管道和元件通道内，既减小了通流面积又增大了流通阻力，还会堵塞气阀等元件使阀体动作失灵）等杂质。可选用合适过滤器来清除压缩空气中的杂质并及时排除过滤器内积存的液体（当积存液体接近挡水板时气流可将积存物卷起）</td></tr>
<tr><td>2）介质清洁，管道不易堵塞，不存在介质变质、补充和更换等问题，维护简单</td></tr>
<tr><td>3）空气黏度很小使其流动损失（传输压损）小，易于实现集中供气和远距离输送</td><td rowspan="2">应保持气动系统的密封性，以免漏气增加能量消耗和造成供气压力下降甚至使气动元件工作失常。严重漏气处可据其响声查找，轻微漏气处可利用仪表或涂抹肥皂水来检查</td></tr>
<tr><td>4）气动动作迅速反应灵敏，适宜高速间歇运动；因空气可压缩而能借助溢流阀实现过载自动保护</td></tr>
<tr><td>5）气动装置结构简单，安装维护方便，成本低廉，工作环境适应性好，可安全可靠地用于易燃易爆场所及严格要求清洁无污染的场合（食品和轻工等）</td><td>应保证气动元件内运动件的灵敏性，以免压缩空气中的油泥逐步降低气阀灵敏度甚至使其动作失灵（来自压缩机的 0.01 ~ 0.08μm 粒度的油微粒在 120 ~ 220℃ 的排气高温下迅速氧化而颜色变深、黏性增大，进而逐步固化成油泥后黏附于气阀阀芯上）。可在过滤器后安装油雾器来分离清除油泥并定期清洗气阀，以保证气阀的灵敏度</td></tr>
<tr><td rowspan="4">缺点</td><td>1）工作压力低（通用 0.1 ~ 0.8MPa）使系统输出力较小</td><td rowspan="2">应使气动装置具有合适的工作压力和运动速度，确保压力表读数准确，以及紧固调压阀或节流阀的阀盖/锁紧螺母以防松动</td></tr>
<tr><td>2）气动系统的排气噪声大，高速排气时需设消声器</td></tr>
<tr><td>3）因空气可压缩使得气缸运动速度受负载变化影响大，其运动精度较低，不宜实现精确定位</td><td rowspan="2">应保证空气内含适量润滑油，以免润滑不良造成气缸因摩擦力增大而推力不足、系统因密封材料磨损而漏气、气动元件因锈蚀而损伤或动作失灵等；通常可在过滤器和减压阀后安装供油量为 $1mL/10m^3$ 的（40 ~ 50 滴油）油雾器进行喷雾润滑，定期检查润滑良好性（在换向阀排气口附近放 1 张清洁白纸，3 ~ 4 个循环后白纸上有很轻的斑点时润滑良好）</td></tr>
<tr><td>4）空气自身无润滑性能而需另加润滑装置</td></tr>
</table>

4.3.2　常用气动元件及故障

1. 气源装置及故障

气源装置的主体为空气压缩机（简称空压机），其作用是将电动机或其他原动机输出的机械能转变为空气的压力能并向系统提供一定流量和压力的气体，属于气动系统的动力源。图 4-97 为典型气源装置的组成：电动机 6 驱动空气压缩机 5 将大气压力状态下的空气升压并输出，自动压力开关 7 会根据小气罐 2 内气压的高低来控制电动机 6 启动或停止以保证小气罐内压力维持在某个调定范围，一旦异常情况导致小气罐内压力超过允许值时安全阀 4 会开启而向外排气卸压；单向阀 3 用于防止压缩空气的反向流动，后冷却器 10 则通过降温将压缩空气中的水蒸气和脏油

雾冷凝为液滴后由油水分离器11分离出空气外，同时在10、11和12的最低点均设有排水器以排除液态的水和油。

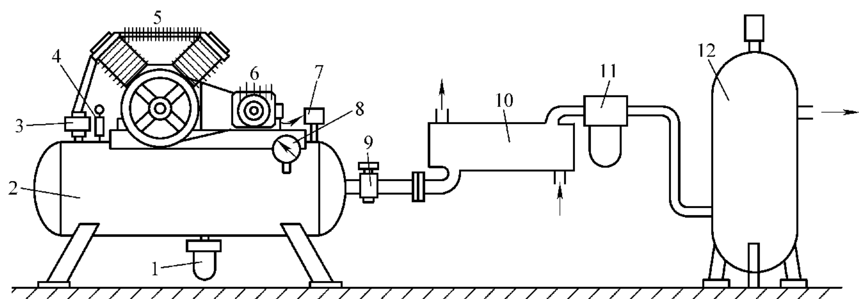


图4-97 典型气源装置的组成

1—自动排水器 2—小气罐 3—单向阀 4—安全阀 5—空气压缩机 6—电动机 7—自动压力开关 8—压力表 9—截止阀 10—后冷却器 11—油水分离器 12—储气罐

（1）空压机的分类与选用 空压机的常见类型及实物，如图4-98所示。空压机的选择依据主要是气动系统的工作压力和流量，选择工作压力（0.3～3MPa）时应充分考虑沿程的压力损失并使气源压力（如0.65～0.7MPa）比系统中工作部件所需最大压力高20%左右（若最大压力较低时可用减压阀减压再供气），选择输出流量（0.1～34m^3/min）时应充分考虑气体泄漏所带来的压力影响并在系统所需最大理论耗气量的基础上给予一定余量。



图4-98 空气压缩机的常见类型及实物

a）空气压缩机的常见类型 b）活塞式空压机 c）膜片式空压机 d）螺杆式空压机 e）涡旋式空压机

（2）空压机的工作原理 容积式空压机的工作原理类似于容积式液压泵，是通过缩小单位质量气体的体积来获得压力的；动力式空压机是通过提高单位质量气体的速度并使动能转化为压力能来获得压力的。下面以活塞式空压机（见图4-99）为例来说明容积式空压机的基本工作原理。空压机工作时，回转运动的曲柄8通过滑块机构（十字头和滑道）使气缸活塞3作往复直线运动，活塞向右移动则气缸腔2的容积增大并形成局部真空，在大气压作用下吸气阀9打开使外

界空气进入气缸腔内；活塞向左移动则气缸腔 2 的容积缩小使其内部气体被压缩，随压力升高而排气阀 1 打开后排出压缩空气，如此重复“吸气→压缩→排气”过程。

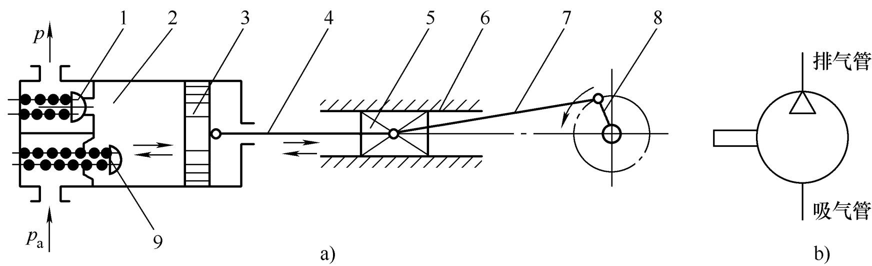


图 4-99　活塞式空压机的工作原理及图形符号

a）工作原理图　b）图形符号

1—排气阀　2—气缸腔　3—活塞　4—活塞杆　5—十字头　6—滑道　7—连杆　8—曲柄　9—吸气阀

（3）气源装置的常见故障与排除　常见的故障有空压机故障、减压阀故障和管路故障及压缩空气处理组件（亦称气动三联体，作为辅助元件介绍）故障等，其可能的原因及处理方法见表 4-42。

表 4-42　气源装置常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
空压机故障	1）截止阀损坏	空压机自动停机十几秒后关闭电源并用手盘动胶带轮，可轻松转动 1 周时截止阀正常，反之损坏；也可据自动压力开关下排气口的排气情况判定，一般在空压机自动停机十几秒后停止排气，若一直排气直至空压机再次起动时才停止，则截止阀损坏，应更换截止阀
	2）活塞环磨损严重	空压机压力上升缓慢并伴有串油现象时，其活塞环被严重磨损，应更换空压机的活塞环
	3）进气阀片损坏使压力上升缓慢，但无串油现象	将手掌置于空气过滤器的进气口上，若有热气向外顶则表明进气阀损坏，应更换进气阀
	4）空气过滤器堵塞使压力上升缓慢但无串油现象	将手掌置于空气过滤器的进气口上，若存在较小的吸力则表明空气过滤器堵塞，应清洗或更换过滤器
	5）空压机因润滑油选择或给油量不当及连续运转时间过长、运动件动作不良而油泥太多	①更换高温下不易氧化的润滑油。②给油过多时排出阀上滞留时间长，给油过少时活塞会烧伤等，故应注意给油量适当。③温度高时润滑油易碳化，故应选用大流量空压机以实现不连续运转。④可在过滤器后安装油雾器来分离清除油泥
减压阀故障	1）调压弹簧断裂或膜片破裂而造成空压机的压力调不高	应更换调压弹簧和膜片
	2）过滤网被堵塞使压力上升缓慢	拆下过滤网，用干净清洗油清洗过滤网或用现场高压风吹掉过滤网上的污物
管路故障	1）管路接头处泄漏，软管破裂	从声音上判定漏气部位并及时彻底处理泄漏处，如适当力矩紧固螺纹连接处，更换密封元件，定期校验安全阀，在螺纹拧入 2～3 牙（防止密封胶进入管道内）后涂抹密封胶等
	2）冷凝水聚积	定期打开排水器，泄掉管路中聚积的冷凝水（北方的冬季冷凝水易结冰而堵塞气路）

2. 气动辅助元件及故障

气动辅助元件是用于辅助保证气动系统正常工作的一些装置，包括净化元件、储存元件、油雾器、消声器、管件及密封件（参见第4.1.5节）等。

（1）压缩空气的净化元件与故障排除　空压机排出的压缩空气中含有油污、水分和灰尘等杂质而不能直接用于气动系统，必须经过降温、除油、干燥和过滤等一系列净化处理后方可使用。

1）净化元件的典型配置形式（见图4-100）：

① 一次净化时，空气先经一次过滤器过滤掉部分灰尘和杂质后进入空压机1→空压机排出的压缩空气进入后冷却器2进行冷却（温度降低至40～50℃）而使油雾与水汽凝结为油滴和水滴→然后进入油水分离器3并将大部分油、水和杂质从气体中分离出来→经初次（即一次）净化的压缩空气送入储气罐4中→直接供给要求不高的气动系统使用。

② 对仪表用气和质量要求较高的工业用气（如光栅尺的吹尘用气和机床主轴油气润滑用气等）必须进行二次（或多次）净化处理→即将一次净化处理后的压缩空气再送入干燥器5（Ⅰ和Ⅱ通过四通阀9的切换而交替使用，空闲状态的干燥器会利用加热器8吹入的热空气进行再生）内以进一步除去气体中残留水分→通过空气过滤器6进一步除去气体中的油气和颗粒后进入储气罐7中→供给仪表和要求较高的气动系统使用。

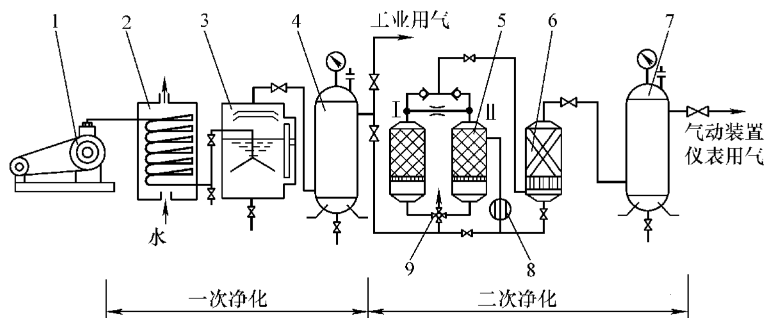


图4-100　气动系统中净化元件的典型配置形式

1—空压机　2—后冷却器　3—油水分离器　4、7—储气罐
5—干燥器　6—空气过滤器　8—加热器　9—四通阀

2）后冷却器的功用与常见结构型式：因气体体积缩小时压强会增大随之温度升高而使空压机的排气温度一般为140～170℃，故必须在空压机排气管处安装后冷却器，以降低压缩空气的温度至40～50℃并使气体中的油雾和水汽冷凝为油滴和水滴（后经油水分离器析出）。后冷却器有风冷型和水冷型两种结构型式，常用的是水冷型冷却器（见图4-101）。

3）油水分离器的功用与常见结构型式：油水分离器又称除油器，安装于后冷却器后端的气源管道上，用于分离压缩空气中凝聚的水分、油分和灰尘等杂质以使压缩空气得到初步净化。其结构型式有环形回转式、撞击并折回式（较常用，见图4-102）、离心旋转式、水浴式及以上型式的组合使用。

撞击并折回式油水分离器的工作原理：来自后冷却器的压缩空气经进气管4进入油水分离器内→气流受到隔板2的阻挡而向下流动并折返向上回升（速度一般不超过1m/s，否则会降低油水分离效果）并形成环形气流→最后从输出管3排出→同时压缩空气中凝聚的油滴和水滴等杂质在惯性力和离心力的作用下分离析出而沉降于分离器的底部并可通过放油/水阀6定期排出。

4）干燥器的功用与常见结构型式：压缩空气进行二次（或多次）净化处理时，需在气源管路上安装干燥器（大型空压站应配置2套干燥器Ⅰ和Ⅱ以交替使用），用于进一步吸收和排除气

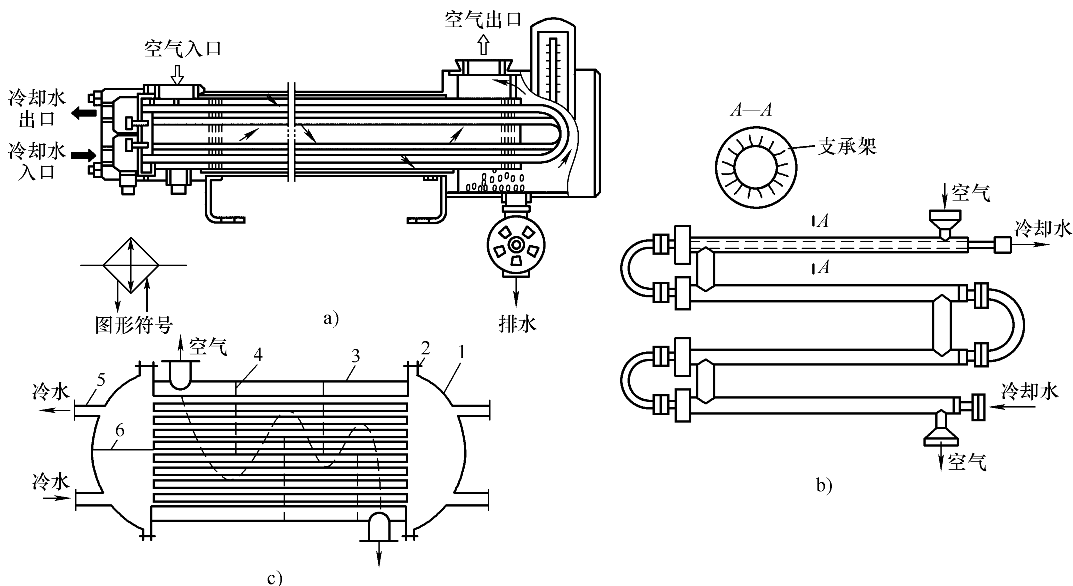


图 4-101 水冷型冷却器的常见结构型式

a）蛇管式水冷型冷却器 b）套管式水冷型冷却器 c）列管式水冷型冷却器

1—封头 2—固定板 3—外壳 4—活动板 5—冷却水管 6—隔板

流中残留的水分以供精密机械和仪表等装置使用。空气干燥器主要有冷冻式、吸附式和吸收式（亦称潮解式）三种型式，如图 4-103 所示。其中冷冻式干燥装置是先使初步净化后的压缩空气进入热交换器进行初次冷却以析出水分，再经冷却装置（气态制冷剂冷却后变为低温低压的液态对气流进行冷却，吸收气流热量后再变为气态，如此循环）降低温度至 2～5℃以进一步析出水分并通过分水排水器排除，从而干燥压缩空气的；吸附式干燥器是通过干燥吸附剂（如焦炭、硅胶、铝胶、分子筛和滤网等）吸收气态水分而干燥压缩空气的；吸收式干燥器是通过干燥罐内随时填充型干燥剂与水分发生化学反应（溶解）而干燥压缩空气的，溶解后的液态干燥剂自干燥罐底部排除。

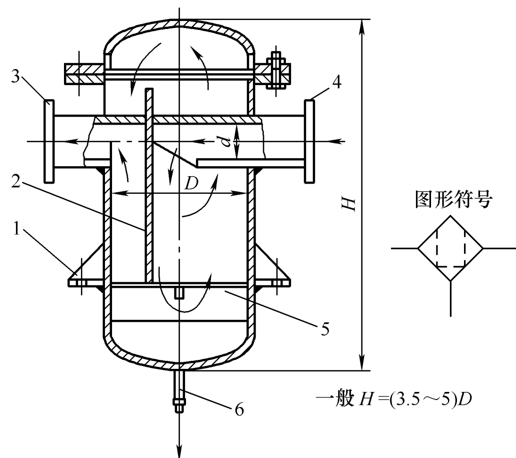


图 4-102 撞击并折回式油水分离器的结构原理图

1—支架 2—隔板 3—输出管 4—进气管

5—橱板 6—放油/水阀

5）空气过滤器的功用及气动三联体（见图 4-104）：空气过滤器又称分水滤气器，属于二次过滤器（滤灰效率为 70%～99%），用于清除压缩空气中的水分、油分和固体颗粒杂质。它既可单独使用，也可与减压阀（稳定二次压力）和油雾器组合成为气动三联体使用。在图 4-104a 所示空气过滤器中，压缩空气自输入口进入并吹动开有许多斜槽切口（成一定角度）的旋风叶子高速旋转，使气流所含的液态水分和油分等杂质在离心力的作用下分离析出而沉降于存水杯的底部，最终经由中间滤芯再次过滤的气流自输出口排出。为防止存水杯底部的杂质被气流卷起而污染滤芯，需设置挡水板并定期以手动或自动形式打开排水阀将其泄掉。

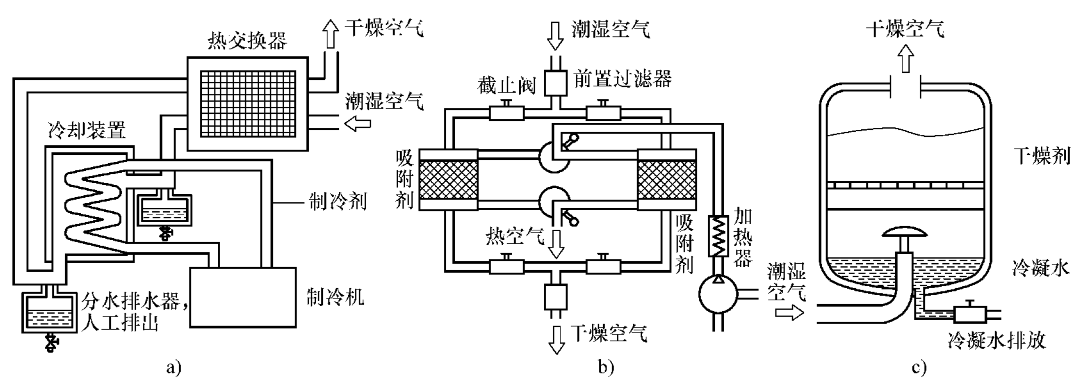


图 4-103　常见空气干燥器的工作原理图
a）冷冻式干燥装置原理图　b）吸附式干燥器原理图　c）吸收式干燥器原理图

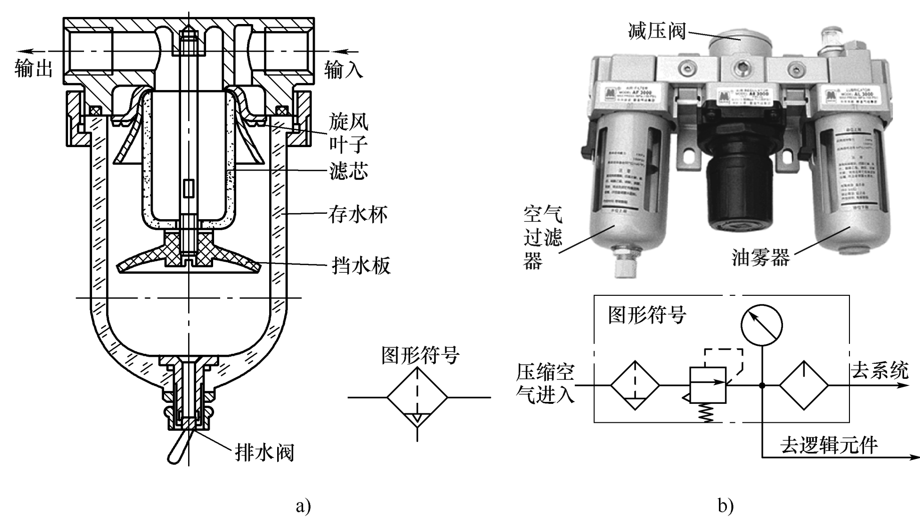


图 4-104　空气过滤器结构简图与气动三联体实物
a）空气过滤器结构简图　b）气动三联体实物及图形符号

6）净化元件的常见故障与排除：常见的故障有油水分离器故障、干燥器故障、空气过滤器故障、减压阀故障和油雾器故障等，其可能的原因及处理方法见表 4-43。

表 4-43　净化元件常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
油水分离器故障	滤芯堵塞、破损或放油/水阀的运动部件动作不灵活等	工作中应经常清洗或更换滤芯，修复或更换放油/水阀，并定期打开该阀以及时除去积聚的油滴和水滴等杂质
冷冻式干燥器故障	1）分水排水器不良致除水不良	检查分水排水阀是否已打开，若阀堵塞则应疏通清洗，若损坏时应修复或更换新件
	2）制冷机存在故障致除水不良	①制冷剂冷凝压力太高时，应调整水量调节阀和膨胀阀及压力开关。②入口处温度太高时，应增设后部冷却器。③制冷剂泄漏时，应查找泄漏源，紧固、焊补或更换配件以消除泄漏并补充制冷剂。④压缩机故障时，应检查压缩机是否烧毁及电力供应是否正常等

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
冷冻式干燥器故障	3）制冷机不能开机起动	①制冷机的供电系统故障时，应借助万用表查找外部断线处，查看熔丝是否熔断及空气开关是否跳脱。②供电系统正常但制冷机仍不起动时，应测量制冷机的电压是否正常（额定电压的 ±10%），控制开关是否良好，控制线路是否正常，保护系统跳脱后是否复位，压缩机是否烧毁或内部 MP 是否动作等
	4）压缩机起动后运转不良	①压缩机起动不久后跳闸时，应检查电压异常处。②电压虽正常但仍运转不良时，应清洗冷凝器的积垢或更换接触不良的冷媒压力开关等。③过载继电器经常跳脱时，应调高过载继电器的设定值，对冷却水采取降温措施，增设后冷却器来降低入口处过高的温度
空气过滤器故障	1）滤芯堵塞致出口侧压力下降	当内壁脏污影响观察时用中性洗涤剂清洗，在进口、出口压力之差至 0.1MPa 时更换滤芯
	2）存水杯（滤杯）与排水口漏气致出口侧压力下降	确认存水杯有无裂缝，可用金属壳体替代；检查外部泄漏并消除
	3）出口侧有异物飞出	①滤芯安装不良时，可重新正确放置。②挡水板破损时，更换新件。③排水不良时，应检查排水阀的动作良好性并定期开阀泄掉存水杯底部的杂质。④滤芯破损时，更换新件
	4）存在外部泄漏	①存水杯的垫圈不良时，更换新件。②存水杯破裂时，应更换新件或用金属壳体替代。③排水阀打开排污后未及时关闭或排水阀密封不良时，应及时关闭排水阀并更换此阀的密封件使其密封良好
	5）出口侧流出冷凝水	①未及时排放冷凝水时，应每天打开排水阀或安装自动排水器来泄掉冷凝水。②自动排水器无法排水时，应查找控制电压是否正常、PLC 控制信号是否输出或自动排水器损坏等
减压阀故障	1）出口压力不能调整或调不高	①阀体内进入异物时，应拆卸减压阀并进行清洗，如配件有破损则换新件。②阀座的 O 形密封圈破损时，应换新密封圈。③出口侧高压迂回时，应在回路上加装单向阀。④阀体黏滞时，应清理阀座并更换 O 形密封圈。⑤调压弹簧断裂或膜片破裂时，应更换新件
	2）出口侧压力不能上升	①树脂调压手轮破损时，应更换新件。②先导气路被杂物堵塞时，应清理先导气路（精密减压阀先导气路中的节流装置易被油雾等堵塞）
	3）出口侧压力发生激烈波动或不匀变化（超过 10%）	①阀杆或进气阀芯上的 O 形圈表面损伤时，应更换新件。②进气阀芯与阀底座间导向接触不良时，应整修或更换阀芯。③减压阀通径或进出口配管通径选择过小导致输出压力随输出流量的大小变动而激烈波动时，应根据最大输出流量重新选择减压阀的通径
	4）压力调不低，输出压力升高	①阀座处有异物或伤痕及阀芯上密封圈剥离时，应拆卸减压阀清除异物，修复伤痕或换新件等。②阀杆变形时，校正阀杆或换新件。③复位弹簧损坏时，应换新件
	5）平衡状态下空气自溢流口溢出	①膜片破裂时，应更换新件。②进气阀座和溢流阀座有尘埃时，应拆卸清洗减压阀。③阀杆顶端和溢流阀座间的密封漏气时，应更换密封圈
	6）存在外部泄漏	①阀盖未装紧而泄漏时，应对角均等地紧固阀盖。②密封件破损时，应换新件
	7）不能溢流	①溢流口堵塞时应拆卸减压阀清除异物。②溢流孔座橡胶垫太软时可换合适硬度橡胶垫

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
油雾器故障	1）油雾器不滴油（液态油滴不能被雾化）或滴油量太小	①油雾器装反时，应重新正确安装。②油道堵塞时，应清理油雾器或换新件。③节流阀未开启或开度不够时，应重新调节节流阀的开度使滴油量在 5 滴/min 左右即可。④通过流量小使压差不足以形成油滴时，可更换合适规格的油雾器（进口空气流量不能低于起雾流量）⑤润滑油黏度太大时，应更换黏度适合的润滑油。⑥气流短时间间歇流动而来不及滴油时，可采用强制给油方式
	2）油杯底部沉积有水分	应通过油雾器底部的排水旋钮及时泄掉底部的水分以保证润滑油的纯度，排水完毕后应迅速拧紧排水旋钮
	3）油杯口的密封圈破损	及时更换新密封圈并在密封圈上涂抹润滑脂后再安装
	4）油杯内油面低至油位下限位置	正常使用时油杯内油面应保持在上、下限范围之内
	5）耗油过多	节流阀开度过大时，应重新调整其开度；节流阀失效时，应换新件

（2）压缩空气的储存元件——储气罐与故障排除　储气罐不但可存储一定量的压缩空气（容积为 0.3～100m³），还可进一步分离压缩空气中的水分、油分和杂质等，不但可消除所排压缩空气的压力脉动以保证输出气流的连续性，还可用做应急气源（压力为 0.8～1.6MPa）以防止空压机意外停机使气动系统立即停机而造成故障。储气罐一般采用圆筒状焊接结构，分为立式和卧式两种形式，其中多数为立式储气罐（见图 4-105），其上常设有安全阀、压力表和排污管阀等附件。储气罐常见的故障为压力过高或压力过低，其可能的原因及处理方法见表 4-44。

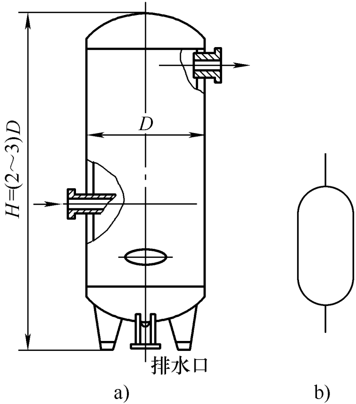


图 4-105　立式储气罐的结构简图及图形符号
a）结构简图　b）图形符号

表 4-44　储气罐常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
储气罐的压力过低	1）工作管道中有过多的泄漏	用肥皂水检查工作管道的泄漏情况，对泄漏处进行焊补、紧固、密封或更换新件
	2）进气阀没有完全打开	据空气需求量打开进气阀，进气阀故障时对其拆卸检修或更换新件
	3）空气过滤器堵塞	过滤器的内壁脏污影响观察时可用中性洗涤剂清洗，在进、出口压力之差至 0.1MPa 时更换滤芯
	4）容调阀设置不正确	重新调节容调阀以获得需要的调节范围
	5）储气罐压力表损坏	更换经计量合格的压力表
	6）空气需求量过大	重新估计需求量，必要时再增加 1 台空压机
储气罐的压力过高	1）卸载压力设置不当	重新设定卸载压力使其小于额定最大工作压力
	2）空气需求量较少时进气阀门未关闭	据空气需求量关闭进气阀，进气阀故障时对其拆卸检修或更换新件
	3）放空阀未放空储气罐压力	检查控制电磁阀和排气阀

（3）油雾器与故障排除　油雾器是一种特殊的注油装置，它可将润滑油经气流（干燥无油）引射出来并雾化为 2～3μm 的微粒后混入气流中，随压缩空气流入气动控制阀、气缸和气马达等需要润滑的部位，还经常与空气过滤器和减压阀（稳定二次压力）组合成为气动三联体使用。在图 4-106 所示油雾器结构简图中，工作时压缩空气自入口 1 进入油雾器，其大部分经出口 4 排出，剩余的一小部分则通过小孔 2 进入截止阀 11 中并在钢球 10 的上下表面形成压力差，在弹簧力的作用下钢球 10 处于阀座中间位置，此时压缩空气会经截止阀侧面的小孔进入贮油杯 5 的 A 腔（上）使油面压力增高，润滑油液便通过吸油管 12 向上顶开单向阀 6 后继续向上经可调节流阀 7 流入视油器 8 内，并滴入喷嘴小孔 3 中，随后被自入口直接流向出口的气流引射出来成为雾状而随压缩空气排出至润滑部位。当气动系统不工作即没有压缩空气进入油雾器时，钢球 10 受弹簧力作用会向上压紧在截止阀的阀座上以封住加压通道使截止阀处于截止状态。在气动系统工作过程中，拧松油塞 9 使贮油杯 5 的上腔 A 立即与外界大气连通，油面压力会迅速下降至大气压值，钢球 10 便受其上方压缩空气的作用被向下压紧在截止阀的阀座上以封住加压通道。同时因吸油管 12 中的油压下降，单向阀 6 将处于截止状态以防止压缩空气反向通过可调节流阀和吸油管而倒灌入贮油杯内，最终在不停气状态下完成润滑油的添加工作。对于油雾器常见故障的可能原因及处理方法，请参见表 4-43 中的相关内容。

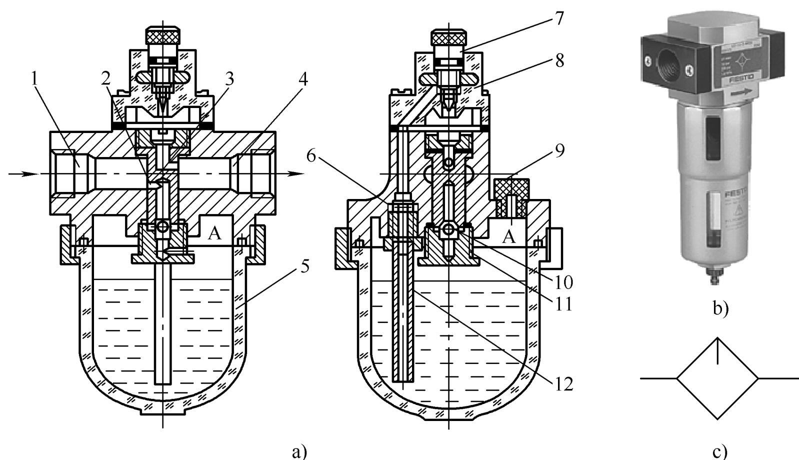


图 4-106　油雾器的结构简图及实物

a）结构简图　b）实物图　c）图形符号

1—气流入口　2、3—小孔　4—气流出口　5—贮油杯　6—单向阀

7—可调节流阀　8—视油器　9—油塞　10—钢球　11—截止阀　12—吸油管

（4）消声器与故障排除　气动系统一般不设排气回路，用后的压缩空气通常经方向阀直接排入大气，但当余压较高时最大排气速度将接近声速，此时气体体积会急剧膨胀及形成涡流而产生强烈刺耳的噪声。噪声大小与排气速度、排气量和排气通道的形状有关，一般在 80～120dB。为减少噪声污染则必须采取消声措施，通常采用在气动系统的排气口（如换向阀、快排阀）外装设消声器来降低排气噪声。消声器是通过对气流的阻尼或增大排气面积等措施降低排气速度和功率来实现降噪的。

1）常见结构型式：有吸收型消声器、膨胀干涉型消声器和膨胀干涉吸收型消声器三种。

① 吸收型消声器是通过让气流通过多孔的吸声材料（即消声罩）并靠流动摩擦生热使气体压力能转化为热能耗散掉而减少排气噪声的（见图 4-107a），因其结构简单及对中、高频噪声具

有良好消噪性（降低 20dB 以上），而多安装在换向阀的排气口处。吸声材料大多使用聚苯乙烯颗粒（直径 0.2 ~ 0.3mm）或铜珠（消声器直径 > 20mm 时）烧结而成。

② 膨胀干涉型消声器是通过气流在管状消声器内的扩散、减速和碰撞反射及互相干涉而消耗能量降低噪声，并经非吸音材料制成且开孔较大的多孔外壳排入大气的；因其直径比排气孔径大许多而使体积较大（不能装在换向阀上），故多用于集中排气的总排气管上来消除中、低频噪声，尤其是低频噪声。

③ 膨胀干涉吸收型消声器是前两种消声器的组合应用（见图 4-107b），它是在消音罩的内壁敷设吸声材料使气流从斜孔引入，在 A 室扩散、减速并被器壁反射到 B 室，通过气流束的相互撞击和干涉来进一步减速而减弱噪声，最后经吸声材料和消音罩上的孔排入大气中。此种消声器的效果较前两种好，低频可消声 20dB，高频可消声 45dB，只宜用于集中排气的总排气管上。

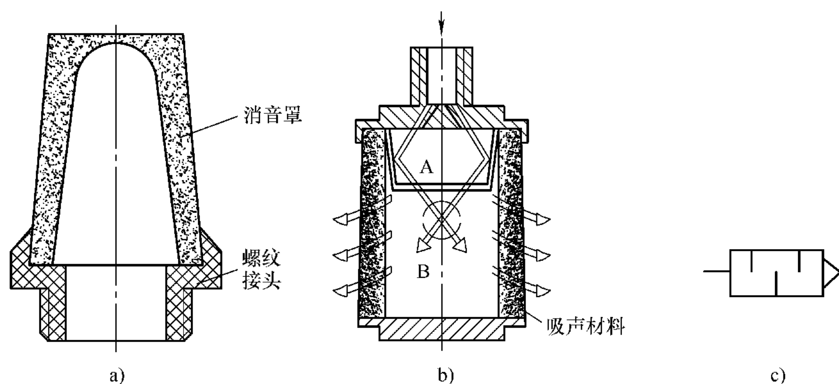


图 4-107　吸收型消声器和膨胀干涉吸收型消声器

a）吸收型消声器　b）膨胀干涉吸收型消声器　c）图形符号

2）常见故障与排除：当换向阀排气口上安装的消声器太脏或被堵塞时，将会影响换向阀的灵敏度和延长换向时间，并可能引起背压过高，故须定期清洗消声器，堵塞严重或破损时应更换新件。

（5）管件与故障排除　管件（管路和管接头）是气动系统的动脉，用以连接各气动元件并经其向各气动装置和控制点输送压缩空气。其中管道有金属管（如镀锌钢管、不锈钢管、拉制铝管和纯铜管）和非金属管（如尼龙管、塑料管和橡胶管）两类，管接头的类型与液压管接头基本相同（参见第 4.1.5 节）。管件的故障主要是因管道破裂、管接头松动/未紧固或密封不严而造成漏气，其可能原因及处理方法可参照表 4-38 中“管路与管接头漏油”执行。

3. 气动控制元件及故障

控制元件是根据数控机床的实际需求，通过数字化电信号等方式对气动系统中的气体压力和流量及气流方向进行控制和调节的各种阀类元件，用以保证气动执行元件或机构完成预定的工作循环。其中控制和调节压缩空气压力的元件称为压力控制阀，控制和调节压缩空气流量的元件称为流量控制阀，改变和控制气流流动方向的元件称为方向控制阀。除这 3 类控制阀外，还有能实现一定逻辑（运算）功能的气动逻辑元件（在结构原理上基本与方向控制阀相同，只是体积和通径较小）。鉴于气动逻辑元件的应用范围正随着气动元件的小型化集成化（如阀岛——将多个控制阀及相应的气控信号接口、电控信号接口甚至电子逻辑器件等集成在一起的电子气动单元，见图 4-108）及 PLC 在气动系统中的大量应用而逐渐减小，故本书重点讲述压力控制阀、流量控

制阀和方向控制阀的控制过程及故障维修。

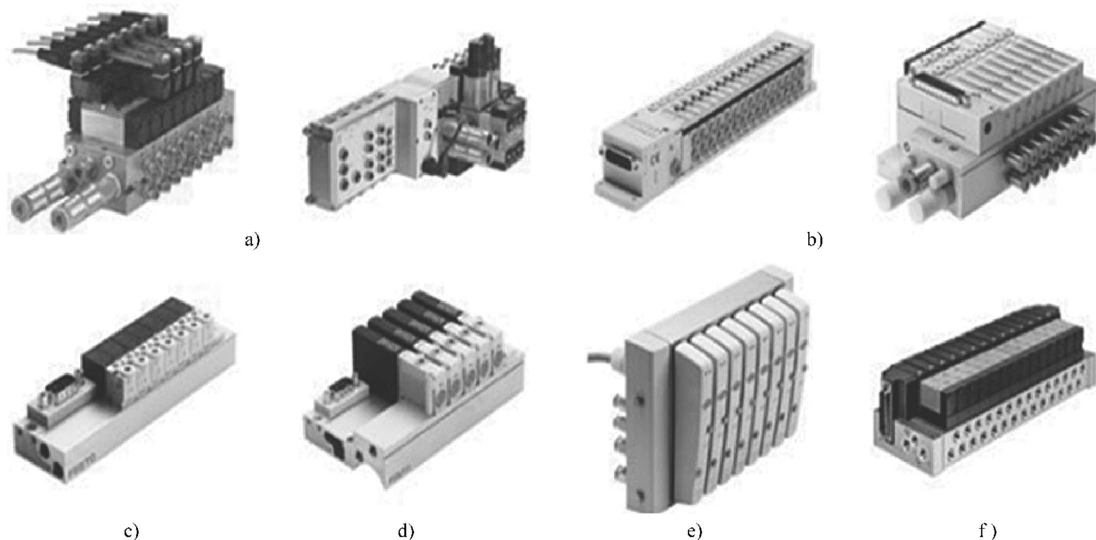


图 4-108 几种最优化的应用型阀岛

a）带标准阀的阀岛 b）智能型方块阀岛 c）Mini 型阀岛 d）快速切换型阀岛 e）易清洁型阀岛 f）Micro、Midi 阀岛

（1）气动控制阀的分类 如图 4-109 所示。

（2）气动控制阀与液压控制阀的不同之处 见表 4-45。

（3）气动减压阀与故障排除 通常气动装置所需的工作介质是由空压机压缩后储存在储气罐内再经管路输送至各控制点的，因储气罐的压力比各台数控机床实际所需要的压力高、压力波动较大及多台机床共用 1 个气压源，故需在空气过滤器之后、油雾器之前安装压力调节元件——气动减压阀（见图 4-110），以使较高的入口压力调节降低至符合使用的出口压力并保持调节后出口压力的稳定。气动减压阀又称调压阀，同液压减压阀一样也是以阀的出口压力作为控制信号。根据压力调节方式的不同，可将其分为直动式减压阀（通径小于 20～25mm 及输入压力在 0.1～1MPa 内最为适当）和先导式减压阀（通径和输入压力均较大时选用）两种。

1）直动式气动减压阀的结构原理（见图 4-111a）：当阀处于工作状态时，旋转调压手轮 8 使其向下压缩调压大弹簧 6 和调压小弹簧 7（两个调压弹簧可使调节的压力更稳定）以及膜片 5，通过阀杆迫使阀芯 3 下移，阀口 2 被打开后压缩空气自左端 P_1 口输入，并经阀口 2 节流减压后自右端 P_2 口输出。其中输出气流的一部分经阻尼孔 4 进入膜片气室 A，在膜片 5 的下方产生一个向上的起负反馈作用的推力（该力总是企图减小阀口的开度以使输出气压下降）。若该推力与弹簧作用力相平衡，则阀芯 3 会维持在某一平衡位置并保持一定的开度，使减压阀得到一个稳定的气流输出压力值。一旦 P_1 口的气流输入压力发生波动（如瞬时升高），则进入膜片气室 A 的输出气流压力将会随之升高，作用于膜片 5 上的气体推力会相应增大使原有的力平衡被破坏而推动膜片 5 上移，此时阀芯 3 在出口气压和复位弹簧 1 的作用下会随之上移使阀口 2 的开度减小以增强减压作用（QTY 型直动式减压阀减压范围 0.05～0.63MPa），从而气流的输出压力下降直至新的平衡为止，重新平衡后的输出压力基本恢复为原值；反之，若气流输入压力减小则阀的调节过程相反。

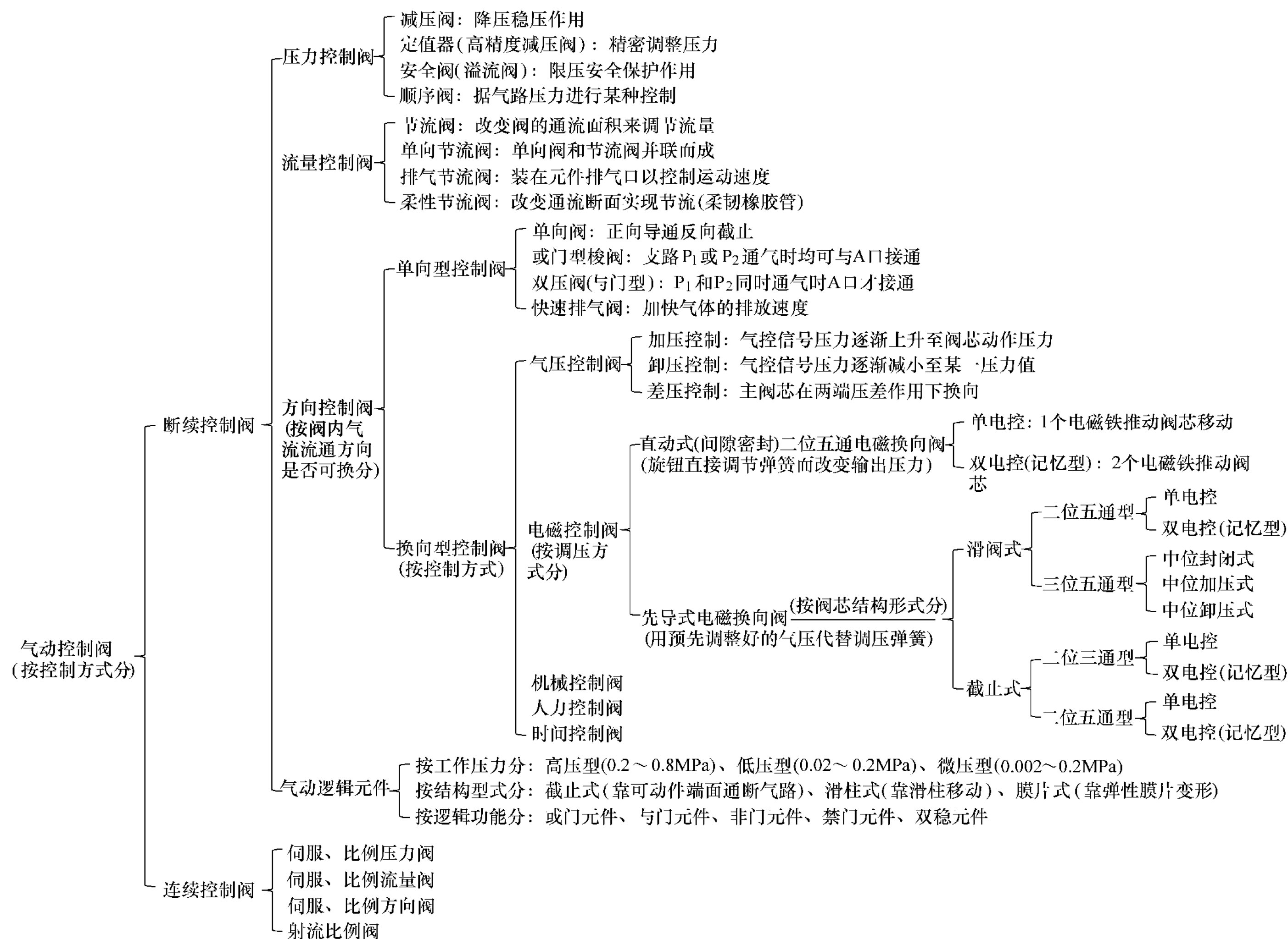


图 4-109　气动控制阀的分类

表 4-45 气动控制阀与液压控制阀的不同之处

序号	比较明细	气动控制阀	液压控制阀
1	所用能源不同	由空压机或空压站提供压缩空气储存在储气罐内，并使用减压阀调节工作压力后经管路输送至各气动装置；不设回气管路，而是直接经排气口排向大气中（用消声器降噪处理）	由液压泵提供一定压力和流量的液压油，且每个液压系统均自带液压源（液压泵）；必须设置回油管路使液压阀的出油口接回油箱以收集用过的液压油
2	泄漏要求不同	除采用间隙密封的气动控制阀外，原则上不允许内部泄漏，以避免危险事故发生；对气动管道来说，允许有少许泄漏	为防止污染环境及输出压力下降，严禁液压阀出现外泄漏，其阀内部可允许有少量的泄漏；对液压管路来说，严禁出现泄漏以防系统压力下降及环境污染
3	润滑要求不同	因空气无润滑性，而使得许多气动控制阀需要进行油雾润滑；阀的零件需选择耐水腐蚀的材料或采取必要的防锈措施	因液压油具有润滑性，故液压阀不存在对润滑的要求
4	压力范围不同	气动控制阀的工作压力范围较液压阀低，通常在 1MPa 以内而少数可处于 4MPa 之内；若超过最高容许压力则会发生严重事故	液压阀的工作压力均很高，通常在 50MPa 以内
5	使用特点不同	一般情况下，气动控制阀比液压阀结构紧凑、重量轻，易于集成安装，阀的工作频率高、使用寿命长。目前，气动控制阀正向低功率、小型化方向发展，并出现了功率仅有 0.5W 的低功率电磁阀——既可与 PC 或 PLC 直接连接，也可与电子器件一起安装在印刷线路板上并通过标准板接通气电回路以节省大量的配线	



图 4-110 几种常用气动减压阀的外观

a）减压阀 b）定差减压阀 c）标准减压阀 d）精密减压阀 e）减压阀气路板

2）先导式气动减压阀的结构原理（见图 4-111b）：与直动式减压阀相比，先导式减压阀增加了由固定节流口 10、挡板 11 和喷嘴 12 及气室 B 所组成的喷嘴挡板放大环节。当喷嘴与挡板间的距离发生微小变化时，气室 B 内的压力就会发生明显的变化而使膜片 5 产生较大的位移，从而控制阀芯 3 上下移动以开大或关小进气阀口 2 的开度。如此既可提高阀芯控制的灵敏度，也可提高阀的稳压精度。

3）气动减压阀常见故障的可能原因及处理方法见表 4-46。

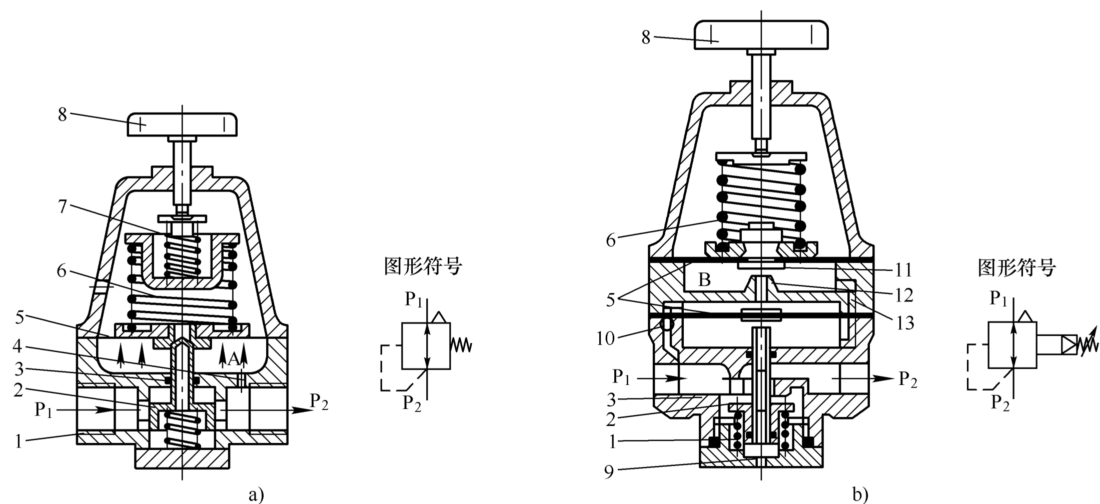


图 4-111　直动式减压阀和先导式减压阀的结构原理图及图形符号

a）直动式气动减压阀　b）先导式气动减压阀

1—复位弹簧　2—阀口　3—阀芯　4—阻尼孔　5—膜片　6—调压大弹簧　7—调压小弹簧　8—调压手轮　9—排气口　10—固定节流口　11—挡板　12—喷嘴　13—孔道

表 4-46　气动减压阀常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可能原因	处理方法
1	出口压力不能调整或调不高	阀体内进入异物	拆卸清洗减压阀
		阀座的 O 形密封圈破损	换新密封圈
		出口侧高压迂回	在回路上加装单向阀
		阀体黏滞	清理阀座并更换 O 形密封圈
		调压弹簧断裂或膜片破裂	更换调压弹簧和膜片
2	出口侧压力不能上升	树脂调压手轮破损	更换树脂调压手轮
		先导气路被杂物堵塞（精密减压阀先导气路中的节流装置易被油雾等堵塞）	清理先导气路
3	出口侧压力发生激烈波动或不匀变化（超过 10%）	阀杆或进气阀芯上的 O 形圈表面损伤	修复阀杆，更换 O 形密封圈
		进气阀芯与阀底座间导向接触不良	整修或更换阀芯使阀芯与阀底座间导向接触良好
		减压阀通径或进出口配管通径选择过小致输出压力随输出流量变动而激烈波动	根据最大输出流量重新选择减压阀的通径
4	压力调不低，输出压力升高	阀座处有异物或伤痕及阀芯上密封圈剥离	拆卸减压阀清除异物，修复伤痕或更换新件等
		阀杆变形	校正阀杆或换新件
		复位弹簧损坏	更换复位弹簧
5	平衡状态下空气自溢流口溢出	膜片破裂	更换膜片
		进气阀座和溢流阀座有尘埃	拆卸清洗减压阀
		阀杆顶端和溢流阀座间的密封漏气	更换密封圈

（续）

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
6	存在外部泄漏	阀盖未装紧而泄漏	对角均等地紧固阀盖
		密封件破损	更换新密封件
7	不能溢流	溢流口堵塞	拆卸减压阀清除异物
		溢流孔座橡胶垫太软	更换合适硬度橡胶垫

（4）气动安全阀与故障排除　当储气罐或回路中的介质压力超过某一设定值时，需通过安全阀（亦称溢流阀）向外放气，以降低系统压力，保证系统安全。当回路中仅靠减压阀的溢流孔排气难以保持执行机构的工作压力时，亦可并联一安全阀用于介质溢流。气动安全阀的结构型式很多，按压力调节方式的不同可将其分为直动式和先导式两种，其中直动式安全阀又有截止式和膜片式之分。

1）直动式气动安全阀的结构原理：在图 4-112a 所示直动截止式安全阀中，压缩空气自下端 P_s 口输入，当气体压力 $p<p_t$（调压弹簧的调定压力）时阀口被阀芯关闭（阀不工作）。当系统压力逐渐升高使作用于阀芯 2 上的气体压力 $p\geqslant p_t$ 时，阀芯被向上顶开而实现溢流，此时气体压力降低直至 $p<p_t$，进而阀芯又呈关闭状态。在图 4-112b 所示直动膜片式安全阀中，自右端 P_s 口输入的压缩空气进入气室 B 后，会在膜片 5 的下方产生一个向上的推力，若该推力超过调压弹簧的作用力 p_t 时便推动膜片 5 向上移动，进而阀芯 2 开启实现溢流，气体压力便降低直至与 p_t 相平衡为止。

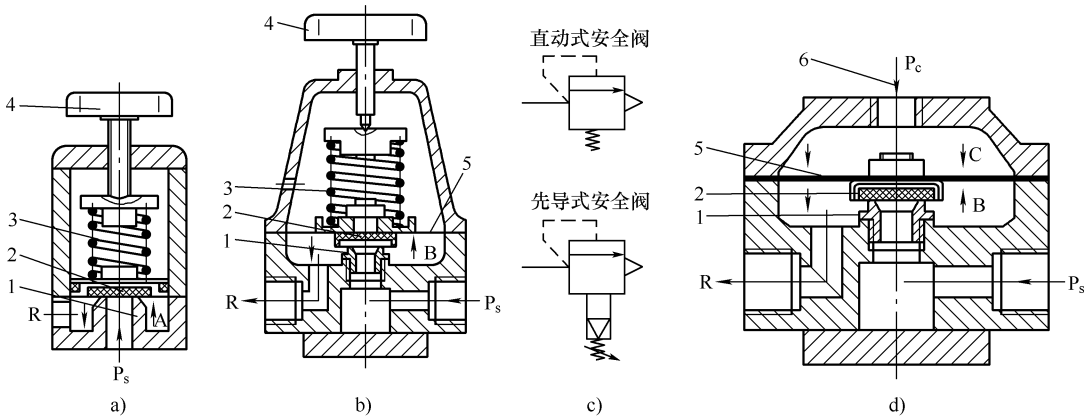


图 4-112　直动式安全阀和先导安全压阀的结构原理图及图形符号

a）直动截止式安全阀　b）直动膜片式安全阀　c）图形符号　d）先导式安全阀

1—阀座　2—阀芯　3—调压弹簧　4—调压手轮　5—膜片　6—先导压力控制口

2）先导式气动安全阀的结构原理（见图 4-112d）：在先导式安全阀中，预先通过控制口 P_c 提供一作用于膜片 5 上的控制气压 p_c，当右端 P_s 口输入压缩空气的压力 $p>p_c$ 时，阀芯 2 会随膜片 5 的上移而向上抬起使 P_s 口与 R 口连通而实现溢流，气体压力便降低直至与 p_c 相平衡为止。

3）气动安全阀常见故障的可能原因及处理方法见表 4-47。

（5）气动顺序阀与故障排除　有些气动回路需要依靠回路中压力变化来实现两个或两个以上执行元件顺序动作的控制，所用的控制元件即为顺序阀。顺序阀一般很少单独使用，常与单向阀组合在一起构成单向顺序阀。

表4-47　气动安全阀常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可能原因	处理方法
1	压力虽超过调定压力但不能溢流	阀内部的孔道被异物堵塞致空气不流通	拆卸清洗安全阀
		阀的导向部分进入异物致阀芯卡滞不动	拆卸清洗安全阀
2	压力虽未超过调定压力但出口溢出空气	阀内进入异物使阀芯不能关闭呈一定开度	拆卸清洗安全阀
		阀座存在损伤与阀芯不能密合而漏气	修复损伤，严重时更换配件
		调压弹簧失灵使阀芯被顶开	更换调压弹簧
3	溢流时发生振动（主要为膜片结构的安全阀）	压力上升速度慢而阀的排气量大引起振动	在安全阀的出口侧安装针阀进行溢流量微调，使之与压力上升量相匹配
		自气压源至安全阀间被节流，安全阀进口压力上升慢而引起振动	可增大气压源至安全阀之间的管径以消除节流
4	自阀体或阀盖向外漏气	膜片式安全阀的膜片破裂	更换同规格的新膜片
		密封件受损	拆卸安全阀后更换新密封件
		阀盖未装紧而泄漏	对角均等地紧固阀盖

1）气动单向顺序阀的结构原理（见图4-113）：压缩空气自 P_1 口进入时，单向阀反向关闭。一旦顺序阀芯5上的气流作用力超过调压弹簧6的调定值，顺序阀芯5便会向上移动使 P_1 与 P_2 连通。压缩空气自 P_2 口反向进入时，气流作用力将单向阀芯1（由刚度很小的弹簧2控制）顶开而实现单向阀功能，此时 P_2 与 P_1 连通。

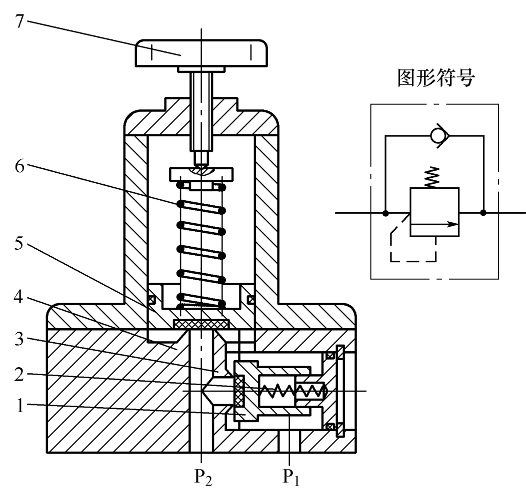


图4-113　气动单向顺序阀的结构原理图及图形符号

1—单向阀芯　2—弹簧　3—单向阀口　4—顺序阀口　5—顺序阀芯　6—调压弹簧　7—调压手轮

2）气动单向顺序阀常见故障的可能原因及处理方法见表4-48。

表 4-48 气动单向顺序阀常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可能原因	处理方法
1	始终出气而不起顺序阀作用	因异物、几何精度差或调压弹簧弯曲使顺序阀芯在打开位置上卡死	拆卸清洗单向顺序阀去除异物
			检查顺序阀芯与阀体孔的配合间隙，修复毛刺和划痕使其移动灵活
			更换同规格的调压弹簧
		因异物或几何精度差等使单向阀在打开位置上卡死	拆卸单向顺序阀后清洗以清除异物
			检查单向阀芯与座孔的配合间隙，修复毛刺和划痕使其移动灵活
		调压弹簧断裂或漏装	更换或补装同规格的调压弹簧
2	始终不出气不起顺序阀作用	因异物、几何精度差或调压弹簧弯曲使顺序阀芯在关闭位置上卡死	拆卸清洗单向顺序阀去除异物
			检查顺序阀芯与阀体孔的配合间隙，修复毛刺和划痕使其移动灵活
			更换同规格的调压弹簧
		调节弹簧太硬或压力调得太高	换刚度较小的调压弹簧并适当调整压力
3	调定压力值不符合要求	调压弹簧调整不当	重新调整所需的压力
		调压弹簧变形使最高压力调不上去	更换同规格的调压弹簧
		顺序阀芯因异物等卡滞而不能移动	检查顺序阀芯与阀体孔的配合间隙，修复毛刺和划痕使其移动灵活
			拆卸清洗单向顺序阀去除异物
4	单向阀反向不能回气	异物堵塞使单向阀芯卡滞而不能打开	拆卸单向顺序阀后清洗以清除异物
		单向阀弹簧刚度太大使阀芯不能开启	更换刚度很小的弹簧

（6）气动节流阀与故障排除　因空气的可压缩性大使得气动执行元件（如气缸）的运动速度受负载变化影响较大，同时气压传动速度远比液压传动速度快，故需要在靠近执行元件附近的气动回路（除利用气缸推举重物等极少数场合采用进气节流方式外，应尽可能采用排气节流调速方式）上安装流量调节元件——气动节流阀（见图 4-114），以控制执行元件的运动速度使其获得更好的速度稳定性和动作可靠性。气动节流阀是通过改变阀的通流面积（阀芯开度大小）使空气流通截面缩小及气体流通阻力增加来降低气体流量和压力的，它既可单独使用也可与单向阀组合在一起构成单向节流阀（亦称速度控制阀）来应用。

1）气动单向节流阀的结构原理（见图 4-115）：压缩空气自 P_1 口进入时，单向阀芯 1 在气流压力的作用下向左运动并紧抵截止阀口 2，使单向阀处于反向关闭状态，此时介质空气只能通过节流口流向 P_2 口，且流量大小受节流口开度（由调节手轮 5 控制）限制。压缩空气自 P_2 口反向进入时，气流作用力将单向阀芯 1（由刚度很小的弹簧控制）顶开而实现单向阀功能，此时介质空气从阀座 6 的周边槽口流向 P_1 口。

2）气动单向节流阀常见故障的可能原因及处理方法见表 4-49。

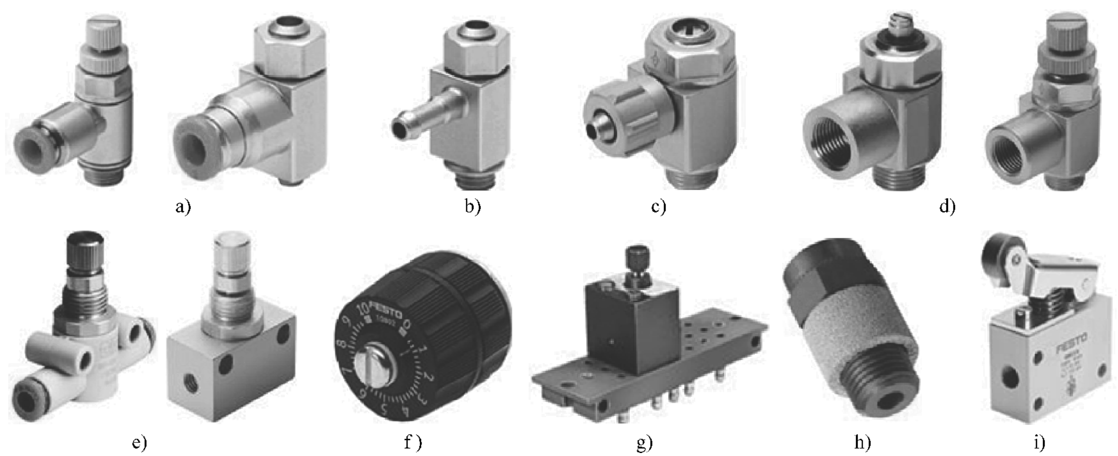


图 4-114　几种常用气动节流阀的外观

a）排气口为快插接头的节流阀　b）进/排气口带有螺纹气嘴的节流阀　c）进/排气口为快拧接头的节流阀　d）进/排气口带有螺纹接口的节流阀　e）管式安装型节流阀　f）精密型节流阀　g）小型节流阀　h）排气节流型节流阀　i）带滚轮杠杆的节流阀

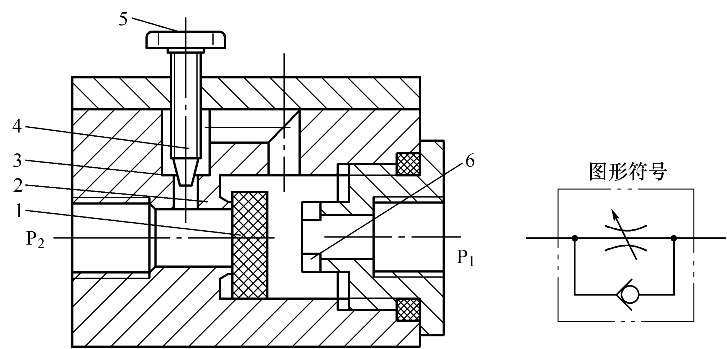


图 4-115　气动单向节流阀的结构原理图及图形符号

1—单向阀芯　2—单向截止阀口　3—节流阀座　4—节流阀芯　5—调节手轮　6—阀座

表 4-49　气动单向节流阀常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
1	气缸能动作但不平滑	单向节流阀的安装方向或位置不对（为进气节流调速方式）	调整单向节流阀的安装方向，使其标注的箭头方向与气流的进气方向相同
			变进气节流调速方式为排气节流调速方式并使单向节流阀尽可能靠近气缸侧。因进气节流调速是通过控制进入气缸的空气流量来调节活塞的运动速度，一旦活塞杆上的载荷有轻微变化就会导致气缸速度的明显变化，故此方式仅用于单作用气缸、小型气缸或短行程气缸的速度控制。而排气节流调速是通过控制气缸排气量的大小及在气缸内产生背压来限制气缸速度的，其速度稳定性好，故常用于双作用气缸的速度控制
		气缸运行中负载有变动	减少气缸的负载率；当外负载变化很大时，可采用气—液联动方法来进行较准确的速度控制
		气缸运动速度超过低速极限	一般气缸的运动速度≥30mm/s，且在超低速控制中仅用气动很难实现，可采用气液缸或气液转换器来实现

（续）

序号	常见故障	可能原因	处理方法
2	气缸速度慢	与其他元件和管路比较，单向节流阀的有效截面积过小	重新计算后选用合适的单向节流阀，通常其流量调节范围为管道流量的20%～30%；在调速范围要求较宽的场合中，可采用单向阀开度可调的节流阀
3	微调困难	节流阀内有冷凝水、尘埃等异物进入而塞满节流口使调节困难	拆卸单向节流阀并清洗去除异物
		所用单向节流阀的调节范围太小	尽量选用节流面积较大的节流阀
4	产生振动	单向节流阀内单向阀芯的开启压力接近气源压力而使单向阀振动	改变使用压力以及保持气缸和活塞间具有良好的润滑性

（7）气动换向阀（气动换向型控制阀的简称）与故障排除　在气动回路中，常用气动换向阀来改变气流通道（阀芯相对于阀体移动）以使压缩空气的流动方向发生变化或接通/切断，从而改变气动执行元件的运动方向。根据气动换向阀控制方式的不同，将其分为气压控制换向阀（利用气体压力使阀芯移位，见图4-116）、电磁控制换向阀（简称气动电磁阀，是借助电磁线圈通电时静铁芯对动铁芯产生的电磁力使阀芯移位的，有直动式和先导式之分，见图4-117）、机械控制换向阀（又称行程换向阀，是借助凸轮、撞块或其他机械外力使阀芯移位的，见图4-118）和时间控制换向阀（通过气容或气阻的作用对阀的换向时间进行控制，见图4-119）等。因气动换向阀的结构、工作原理和和图形符号均与液压换向阀类似，读者可参考第4.1.4节中的内容。在此重点讲述气动控制元件中最主要元件——气动电磁阀的常见故障及处理方法。

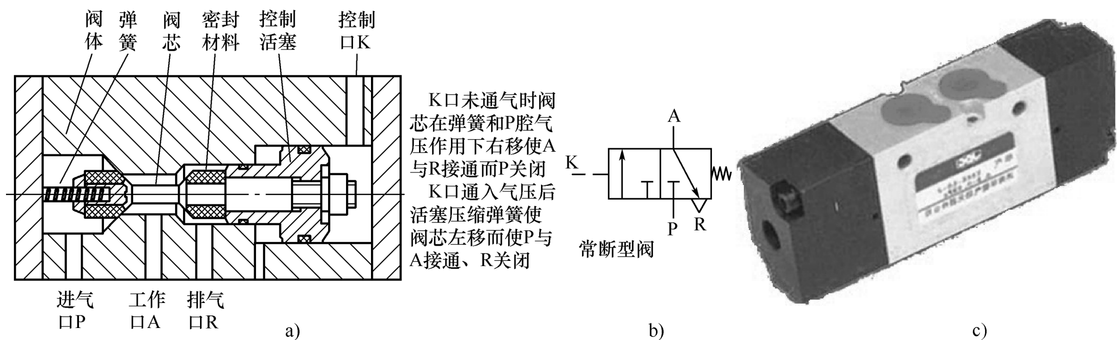


图4-116　二位三通型单气控加压截止式换向阀的结构原理图及其实物

a）结构原理图　b）图形符号　c）实物图

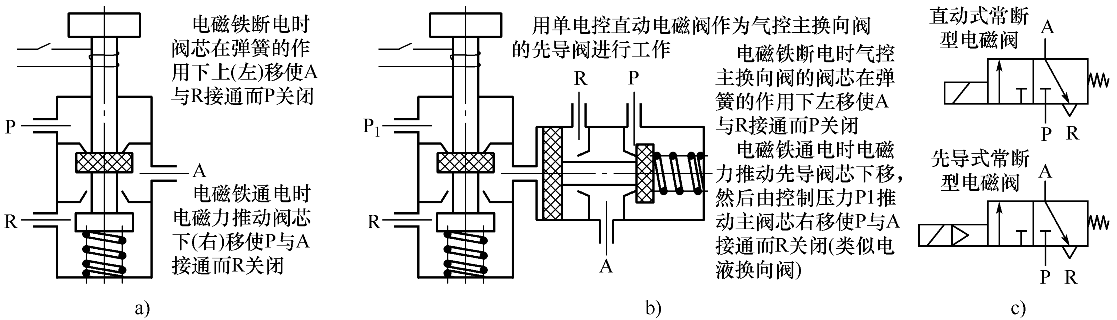


图4-117　二位三通型单电控气动电磁阀的工作原理图及图形符号

a）单电控气动直动式电磁阀　b）单电控气动先导式电磁阀　c）图形符号

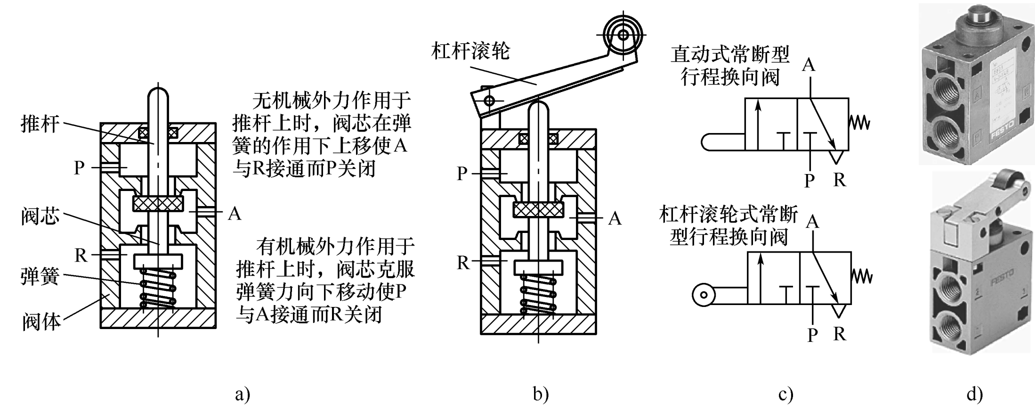


图 4-118　行程换向阀的结构原理图及其实物

a）直动式行程换向阀　b）杠杆滚轮式行程换向阀　c）图形符号　d）实物图

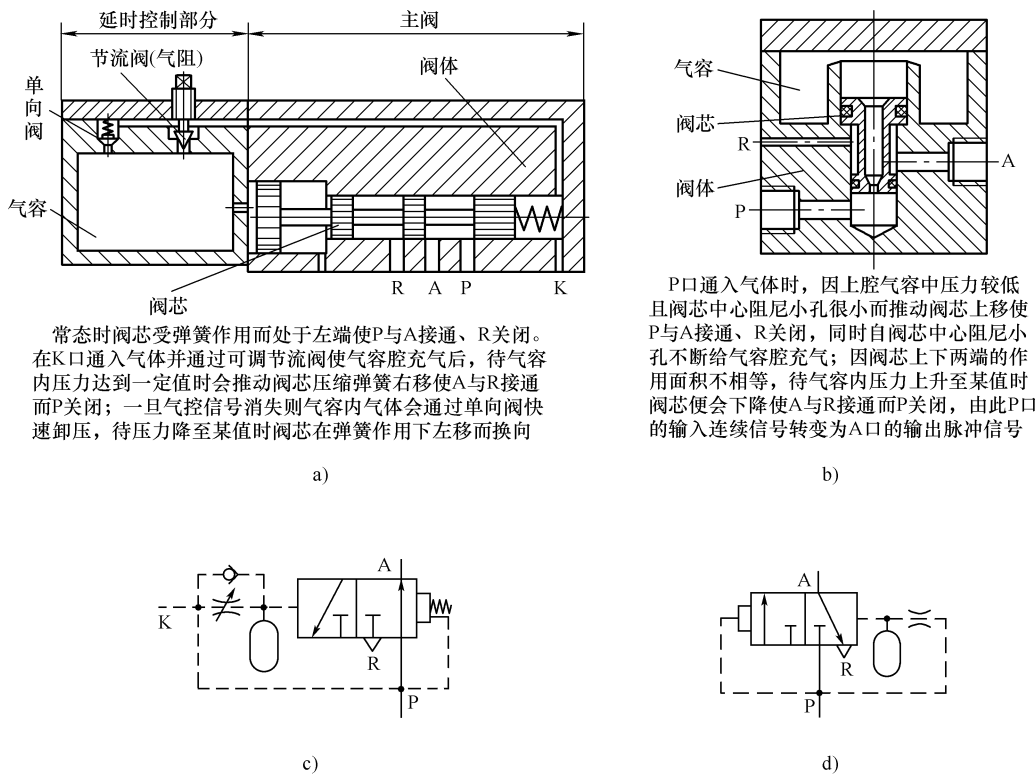


图 4-119　气动延时换向阀和滑阀式气动脉冲阀的结构原理图及其图形符号

a）二位三通型气动延时换向阀　b）滑阀式气动脉冲阀　c）气动延时换向阀图形符号

d）气动脉冲阀图形符号

气动电磁阀常见的故障有阀不能换向或换向动作缓慢、电磁阀线圈烧毁、交流式电磁阀振动、气体泄漏和电磁先导阀故障等，这些故障可能的原因及处理方法见表 4-50。

表 4-50　气动电磁阀常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法	备　注
气动电磁阀不能换向	1）方向切换信号未施加	先将换向阀的手动旋钮转动几下，看电磁阀在额定气压下是否能正常换向，若能正常换向则说明控制电路存在故障	a) 注意手动旋钮的初始方向 b) 异物嵌入使阀芯不能动作 c) 零件锈蚀卡死，阀不能动作
		控制电路存在故障时，先查看 PLC 信号是否输出。若 PLC 有输出，则应查找 PLC 至中间继电器及电磁阀线圈间的元件故障、配线错误或断线等并排除；若 PLC 无输出，则应通过梯形图或语句表查其逻辑条件不满足的原因并加以排除	
	2）方向切换信号未达到额定值	用万用表检查电磁阀线圈电压是否过低，若电压低于额定电压（常用 DC24V、AC110V 和 AC220V），则应进一步检查控制电路的电源是否正常及造成电压降低的可能短路之处（如行程开关的电压端子置于水中）	
	3）电磁阀线圈的接头/插头松动或接触不实	万用表检查线圈电压虽为额定值但电磁阀不能换向时应考虑接头/插头松动或接触不良，重新固定（焊接）或更换之	
	4）电磁阀线圈烧毁	拔下线圈插头，万用表测量线圈阻值约在 30～60Ω 之间，阻值太大或太小时说明线圈已损坏；更换同规格的线圈	
	5）阀芯滑动部分有灰尘等异物嵌入不能滑动	用 WD－40 润滑剂自进气口 P 喷入，然后通入压缩空气并用手动强制其动作，再加入 WD－40 清洗几次，看动作是否灵活	
		动作仍不灵活时应分解清扫阀芯并检查过滤器及净化程度	
	6）含油劣化物进入阀芯	分解清扫阀体和阀芯，装设油雾分离器	
	7）弹性密封的阀芯橡胶被油浸泡而膨胀	使用润滑油不当时，应检查润滑油并更换为透平油	
		查含油劣化物混入情况，分解清扫阀体和阀芯，必要时更换阀芯；另检查过滤器及净化程度，装设油雾分离器	
	8）弹簧折断或锈蚀卡住	分解电磁阀后更换弹簧并排掉冷凝液	
	9）使用压力过大	将压力升至最低使用压力以上	
	10）压力降过大	换用有效截面积大的气动电磁阀	
	11）阀体冻结	排掉冷凝液，设置干燥器	

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法	备　　注
气动电磁阀换向动作缓慢（不灵活）	1）方向切换信号未达到额定值	万用表检查电磁阀线圈电压低于额定电压时，应检查控制电路电源及可导致电压降低的可能短路之处	d）排气口加装消音器
	2）排气节流背压值过高	电磁阀排气口上的消音器太脏或被堵塞而引起背压值过高时，应及时清洗消音器并在堵塞严重时更换同规格的新件	
	3）振动	使振动方向与阀芯切换方向垂直并控制在允许范围内	
	4）控制回路的漏电比返回动作的电流要大	采取措施防止漏电并加大漏电阻抗	
气动电磁阀线圈烧毁（过热预兆）	1）环境温度过高（日晒）	改用高温线圈并对电磁阀采取降温措施（如遮挡、风吹等）	e）AC110V线圈错接AC220V导致线圈烧裂或开裂
	2）工作频率过高	改用高频阀	
	3）交流线圈的动铁芯或阀杆被卡住	清洗并改善气压源的质量（如因空压机油选用不当、连续运转时间过长或运动件动作不良等致气流中的油泥过多）	
	4）接错电源或接线端子	应按线圈允许的额定电压正确接线（如DC24V 和 AC220V 等）	
	5）瞬时电压过高线圈绝缘材料被击穿而短路	将电磁线圈电路与电源电路进行隔离，增设过压保护电路	
	6）电压过低吸力减小，交流线圈的电流过大	通常，使用电压不得比额定电压低 15%以上	
	7）继电器触点接触不良	更换触点	
	8）直动式双电控阀的 2 个电磁铁同时通电	增设互锁电路以避免同时通电	
	9）直流线圈铁芯剩磁大	应更换铁芯材料	
交流式气动电磁阀噪音或振动	1）电磁铁的吸合面不平，存在异物或生锈	修平吸合面的凹凸，清除异物和除锈处理	f）杂质引起噪音
	2）分磁环损坏	更换静铁芯	
	3）使用电压低吸力不够	恢复至正常电压	
	4）固定电磁铁螺栓松动	紧固螺栓，加防松垫圈	
	5）短路线圈损坏或脱落	更换电磁线圈	

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法	备　注
气体泄漏	1）阀内混入灰尘、切屑及密封件产生碎屑等	拆卸电磁阀后清扫阀体和阀芯等并检查过滤器及净化程度	
	2）密封圈受油泥腐蚀而损坏或受力变形，组合密封圈老化破损等	拆卸电磁阀后清扫，更换同规格密封件，排除油泥的问题	
	3）高温时密封件变形	改善系统温度使其处于允许范围内并更换密封件材料等	自动排水过滤器必须竖直安装，若水平安装则漏气
	4）密封部分安装不好	按正规要求重新正确安装密封件	g）正确安装自动排水过滤器
	5）阀芯与阀孔间的磨损加剧使配合间隙增大	更换磨损严重的阀杆和阀座，必要时整体更换气动电磁阀	
	6）电压、气体压力不足或阀芯换向不到位	使电压和气压达到规定的使用范围值	
	7）先导阀的膜片破裂	更换先导阀的膜片	h）杂质等异物会引起泄漏
	8）阀和底板紧固不良	重新紧固（先放松再拧紧）	
	9）阀体压铸件不合格	更换新阀体或整体更换气动电磁阀	
电磁先导阀存在故障	1）因电源未接通、接线断路或中间继电器故障导致电信号丢失	接通电源，查找断线处并接好，更换中间继电器，查 PLC 信号是否输出，测量继电器电压是否正常等	
	2）动铁芯不动作（无声）或动作时间过长	电压太低吸力不够时，应提高电压至规定的使用范围值	
		动铁芯被异物卡住或油泥粘连/锈蚀及环境温度过低时，应拆解电磁阀后清洗，查找气压源净化处理环节的状况	i）锈蚀导致弹簧等折断
	3）动铁芯不能复位	弹簧被腐蚀而折断时，应更换弹簧；动铁芯被异物卡住或油泥粘连时，应拆解清洗并查找气压源净化处理的状况	

4. 气动执行元件及故障

气动执行元件是在气体的推动下由气缸或气马达向外输出运动和速度以驱动工作部件（具有工作压力低和运动速度高特性的负载）实现直线往复运动、摆动或回转运动，从而将空气的压力能转换为机械能的装置。其中气缸既可向外输出推力和位移使负载作直线往复运动，也可向外输出转矩使负载在一定范围内作摆动（即摆动气缸）；气马达则向外输出转矩使负载作连续回转运动。

（1）气动执行元件的分类　如图 4-120 所示。

（2）气缸与故障排除　在数控机床上，常用单活塞杆的普通型气缸（结构上活塞和活塞杆各有 1 件）提供的推力来驱动防护门开/关、机械手换刀或上下料等。根据活塞的受压状态，可将单活塞杆气缸分为单作用式和双作用式。其中单活塞杆单作用式气缸（见图 4-121）仅为 1 端进气，活塞在压缩空气的作用下可单方向直线移动并依靠弹簧力或重力等其他形式的外力返回初

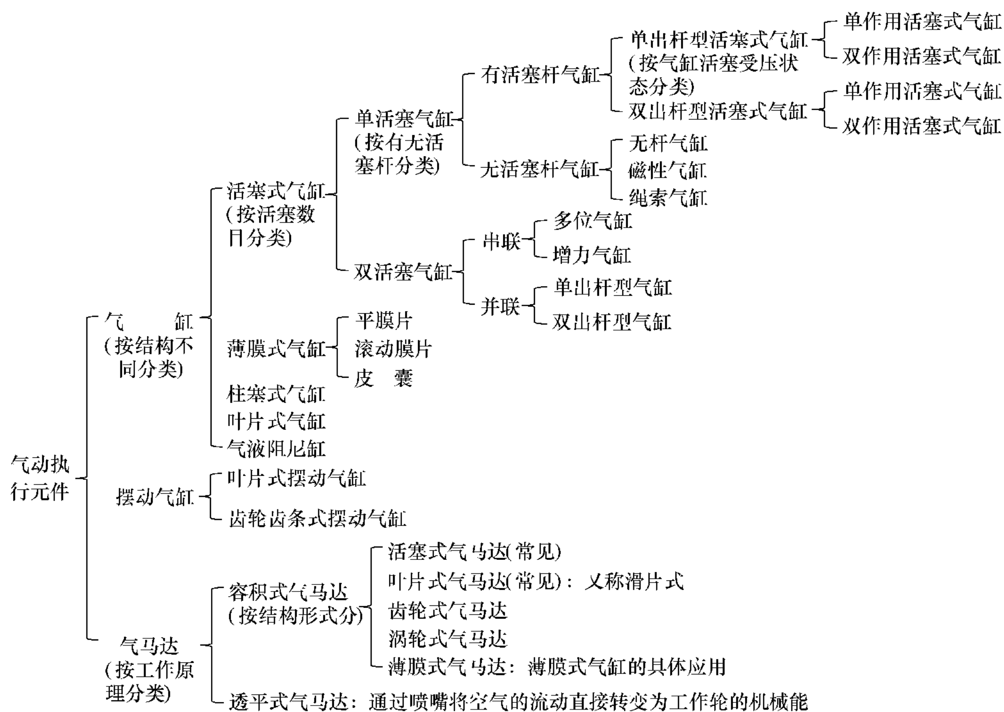


图 4-120　气动执行元件的分类

始位置，它多被用于短行程（一般不超过 100mm）及对活塞杆的推力和运动速度要求不高的场合（如定位和夹紧等）。单活塞双作用式气缸（见图 4-122）是两端均可进气的应用最为广泛的一种普通型气缸，活塞在压缩空气的作用下可双方向直线往复运动。

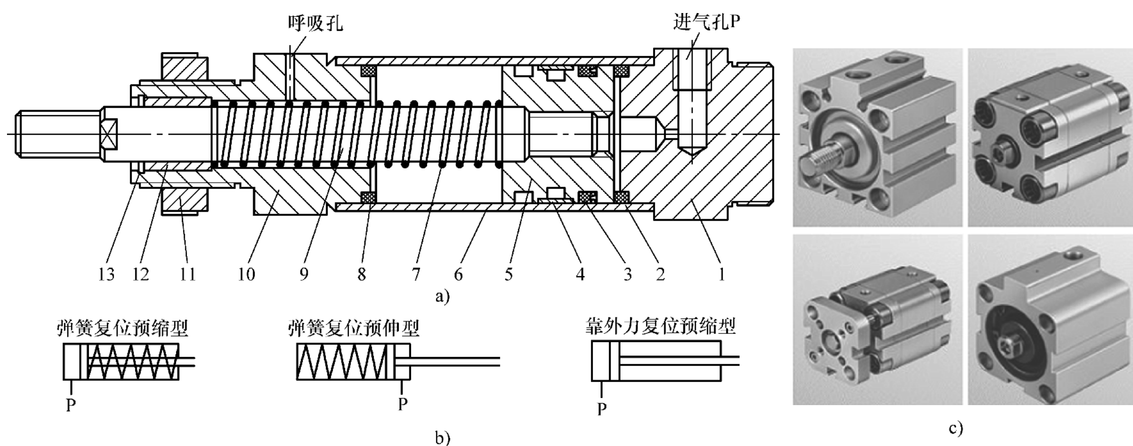


图 4-121　单活塞杆单作用式气缸的结构原理图及其实物

a）单作用式气缸结构原理图　b）单作用式气缸图形符号　c）单作用式短行程气缸实物

1—后缸盖　2、8—弹性垫　3—活塞密封圈　4—导向环　5—活塞　6—缸筒

7—复位弹簧　9—活塞杆　10—前缸盖　11—螺母　12—导向套　13—卡环

气缸常见的故障有气缸动作变慢、动作过快、走走停停、行程终端存在冲击或气缸不动作及气缸漏气等，这些故障可能的原因及处理方法见表 4-51。

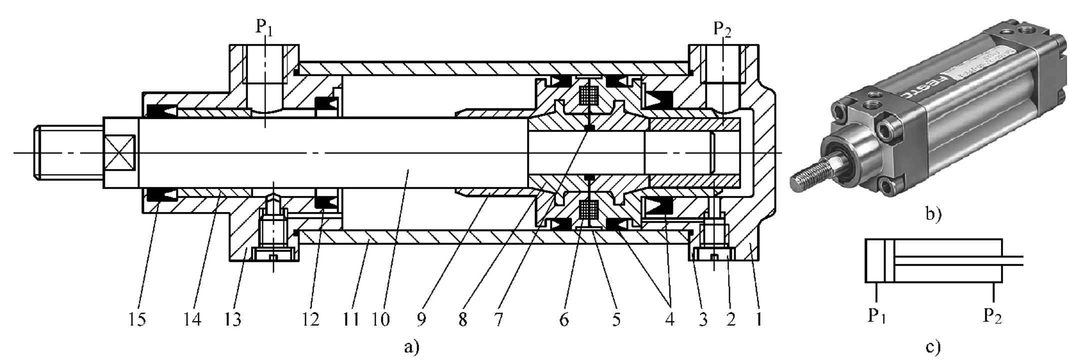


图 4-122 单活塞杆双作用式气缸的结构原理图及其实物

a）双作用式气缸结构原理图 b）双作用式气缸实物 c）双作用式气缸图形符号

1—后缸盖 2—缓冲节流针阀 3、7—密封圈 4—活塞密封圈 5—导向环 6—磁性环 8—活塞 9—缓冲柱塞 10—活塞杆 11—缸筒 12—缓冲密封圈 13—前缸盖 14—导向套 15—防尘组合密封圈

表 4-51 气缸常见故障的可能原因及处理方法

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
气缸动作变慢	1）油雾器供油不足或贮油杯内润滑油脂用尽，造成气缸摩擦阻力增大进而滑动动作不良	确认油雾器及全部管路的状态，贮油杯及时添加润滑油脂，更换气缸活塞上的密封圈（活塞杆表面沾有磨损的粉末时可推断润滑不良）
	2）若活塞杆表面沾有黑色附着物，则说明活塞密封圈变形破损，严重者造成气流串通	及时更换同规格的密封圈，检查缸筒内表面是否有毛刺、划痕等并修复处理，检查过滤器等净化元件的工作状态以消除气流中的杂质
	3）外界负载过大	提高使用压力或增大气缸的缸径
	4）速度控制阀（即单向节流阀）的开度太小	调整速度控制阀的开度（多为排气节流调速方式，尤其双作用气缸）
	5）供气量不足	查明气压源至气缸间哪个元件节流太大，将其换为通径较大的元件或使用快速排气阀使气缸迅速排气
气缸动作过快	1）未安装速度控制阀	靠近气缸侧加装速度控制阀，单作用气缸或短行程气缸采用进气节流调速方式，双作用气缸等采用排气节流调速方式
	2）速度控制阀的尺寸不合适	速度控制阀有一定的流量调节范围，使用大通径的流量阀调节微流量时比较困难，故应更换合适的速度控制阀
气缸爬行造成工作部件运动不平稳	1）气压源处理不符合要求，如气压源干燥不充分，气缸在高温潮湿条件下工作时摩擦阻力增大，压缩空气中混入杂质等	加强气压源的过滤和干燥，定期排放空气过滤器和油水分离器的污水，定期检查空气过滤器是否正常工作，更换损伤的活塞密封圈或组合密封圈等
	2）气缸装配不符合要求，如气缸端盖密封圈压得太死或活塞密封圈的预紧力过大，活塞或活塞杆在装配中出现偏心	适当减小密封圈的预紧力，重新安装活塞和活塞杆使活塞或活塞杆不承受偏心载荷；装配时所有气动元件的相对运动工作表面应涂抹润滑脂
	3）气缸关键工作表面（如缸筒内径）的加工精度不符合要求	据活塞密封圈形式选择缸筒内径的表面粗糙度，如 O 形橡胶密封圈时推荐值为 3 级精度、Ra0.4μm，Y 形橡胶密封圈时推荐值为 4～5 级精度、Ra0.4μm
		通常，气缸圆柱度、圆度误差不超过尺寸公差的 1/2，端面与内径的垂直度误差不大于尺寸公差的 2/3
	4）气缸内泄漏大（即活塞两侧气流串通）	活塞密封圈磨损或损坏时，应及时更换密封圈
		活塞配合面间有缺陷或嵌入杂质时，应修复缺陷使配合间隙符合要求，缺陷严重者更换新件；拆卸气缸去除杂质并检查过滤器和油雾器的工作状况
		活塞因活塞杆安装偏心被卡住时，应重新调整活塞杆中心使其与缸筒同轴
	5）外界负载过大	增大气缸的缸径

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">常见故障</th><th>可 能 原 因</th><th>处 理 方 法</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">气缸走走停停</td><td>1）气缸上的磁性开关失控</td><td>更换损坏的磁性开关</td></tr>
<tr><td>2）继电器触点寿命已到</td><td>更换继电器</td></tr>
<tr><td>3）电插头接触不良或接线不良</td><td>拔下插头后重新插紧，有损伤时更换电插头；检查并拧紧接线螺钉</td></tr>
<tr><td>4）气动电磁阀换向动作不良</td><td>参见表 4-50“气动电磁阀常见故障的可能原因及处理方法”</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">气缸行程终端存在冲击现象</td><td>1）无缓冲措施或缓冲能力不足</td><td>在气缸终端增设合适的缓冲措施以减小活塞对缸盖的冲击</td></tr>
<tr><td>2）缓冲密封圈损伤使其密封性降低</td><td>更换缓冲密封圈，检查缓冲套</td></tr>
<tr><td>3）活塞密封圈损伤而无法形成很高的背压</td><td>更换活塞密封圈</td></tr>
<tr><td>4）缸筒静密封圈破损引起泄漏或未紧固</td><td>更换缸筒静密封圈并以合适的拧紧力矩紧固气缸，消除外泄漏</td></tr>
<tr><td>5）缓冲节流阀松动或有损伤</td><td>重新调整缓冲节流阀后锁定，更换损伤的缓冲节流阀</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="7">气缸不动作或偶尔不动作</td><td rowspan="2">1）无气压供应或供压不足</td><td>检查气动回路中开关阀、流量控制阀等是否打开，排除气动电磁阀不换向故障，校正或更换扭曲、压扁的管道，清洗或更换堵塞、冻结的滤芯</td></tr>
<tr><td>调节气动减压阀至使用压力，将速度控制阀打开至合适开度，更换损坏的密封件或软管及紧固管接头和螺钉以消除严重漏气处</td></tr>
<tr><td>2）外界负载过大</td><td>提高使用压力，增大气缸的缸径</td></tr>
<tr><td>3）存在横向载荷</td><td>用导轨（注意平行度）来消除，定期涂抹润滑脂以有效减小导轨滑动阻力</td></tr>
<tr><td>4）气缸安装不同轴</td><td>正确安装气缸使导向装置的滑动面与气缸轴（活塞杆）平行</td></tr>
<tr><td>5）活塞杆或缸筒因冷凝水或润滑不良而锈蚀</td><td rowspan="2">更换并检查排污装置及润滑状况（油雾器供油量与贮油杯内润滑油脂的量），拆卸气缸清除异物，修复或更换锈蚀、损伤的活塞杆与缸筒及密封圈，检查气压源的净化元件是否工作正常等</td></tr>
<tr><td>6）嵌入异物（灰尘或油泥）使气缸运动阻力增大甚至卡住</td></tr>
<tr><td rowspan="6">气缸漏气</td><td rowspan="3">外泄漏</td><td>1）导向套与活塞杆间有异物嵌入，导向套、杆组合密封圈磨损严重或活塞杆损伤腐蚀</td><td>拆卸气缸去除异物并安装防尘圈，及时更换密封件，采用导轨消除活塞杆的偏磨，改善系统的润滑状况，及时清除冷凝水等</td></tr>
<tr><td>2）缸体与端盖处：密封圈损坏或固定螺钉松动，因缓冲能力不足致缸盖裂损</td><td>更换缸体与端盖处的密封圈及裂损的缸盖，重新紧固螺钉和选用缓冲装置</td></tr>
<tr><td>3）缓冲阀处：密封圈损坏</td><td>及时更换同规格的密封圈</td></tr>
<tr><td rowspan="3">内泄漏</td><td>1）活塞密封圈磨损或损坏</td><td>及时更换密封圈</td></tr>
<tr><td>2）活塞配合面间有缺陷或杂质挤入密封面间</td><td>修复缺陷使配合间隙符合要求，缺陷严重者更换新件；拆卸气缸去除杂质并检查过滤器和油雾器的工作状况</td></tr>
<tr><td>3）活塞因活塞杆安装偏心被卡住</td><td>重新调整活塞杆的中心保证活塞杆与缸筒的同轴度</td></tr>
</table>

（续）

常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
磁性开关故障	1）磁性开关不能闭合/接通或有时闭合	电源故障或接线不良时，应使电源供应正常，排除断线或短路（电压降）处
		磁性开关位置发生偏移时，应将其移至正确位置
		气缸周围存在强磁场或两气缸平行使用时，应安装隔磁板将强磁场或两平行气缸（两缸筒间距≥40mm）隔开
		缸内温度或磁性开关部位温度 > 70℃ 造成磁力减弱时，应采取合理的降温措施并更换磁性开关
		磁性开关受过大冲击后灵敏度降低时，应更换磁性开关并避免冲击
	2）磁性开关不能断开或有时不能断开	磁性开关触点被熔接，如舌簧式磁性开关的舌簧触点因电压 > AC200V、负载容量 > AC2.5VA 或 DC2.5W 而粘接，此时应更换磁性开关，检查电气负荷
		磁性开关受过大冲击后触点粘接不能脱开时，应更换磁性开关
		气缸周围存在强磁场或两气缸平行使用时，应安装隔磁板将强磁场或两平行气缸（两缸筒间距≥40mm）隔开
	3）磁性开关闭合的时间推迟	气缸的缓冲能力太强时，应调节缓冲阀以适当降低气缸的缓冲能力

4.3.3 气动系统在 H400 型卧式加工中心上的应用

H400 型卧式加工中心是一种中小功率、中等精度的加工中心，为了降低其制造成本、提高使用安全性和减少环境污染，并结合气压、液压传动的特点，特采用气压传动系统（见图 4-123）来完成该机床主轴刀具松开、主轴内锥孔吹气处理、双工作台（480mm × 550mm）交换、刀盘前后移动和工作台回转分度及工作台与鞍座间拉紧等辅助动作。

（1）气源供应与处理（见图 4-123） H400 型卧式加工中心的气动系统要求提供额定压力为 0.7MPa 的压缩空气，压缩空气通过快速接头 2 和 ϕ8mm 管道接至系统的气动三联体 3（空气过滤器 + 减压阀 + 油雾器）进行水分、油分、固体颗粒杂质的过滤和气体压力的调低稳压及油雾润滑处理，然后提供给后续各控制元件和执行元件使用。为保证气动系统的稳定安全运行及提高机床工作的可靠性，使用压力继电器 4 对气体压力进行监控，即达到额定气体压力 0.5MPa 时由 SP1 向机床侧发出电参量开关信号以通知机床气动系统正常工作。

（2）机床主轴刀具松开和内锥孔吹气控制（见图 4-123、图 124）

1）刀具松开控制：机床处于 AUTO 或 MDA（FANUC 系统为 MDI）运行方式时，由 CNC 程序执行主轴刀具松开辅助功能代码（M72）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.1（FANUC 系统为 Y）→经中间继电器 KA1 过渡处理后→二位四通型气动电磁阀 7 的线圈 YP1 得电，使阀口 P_1 与 A_1 接通、B_1 与 R_1 接通→净化处理后的压缩空气经 P_1、A_1 和单向节流阀 9（单向阀正向导通使 P_{14} 至 P_{13} 而节流阀不起作用）进入复合双作用松刀气缸 10（缸径不超过 150mm 以使主轴结构紧凑和重量较轻）的 F_1 腔并推动活塞杆向

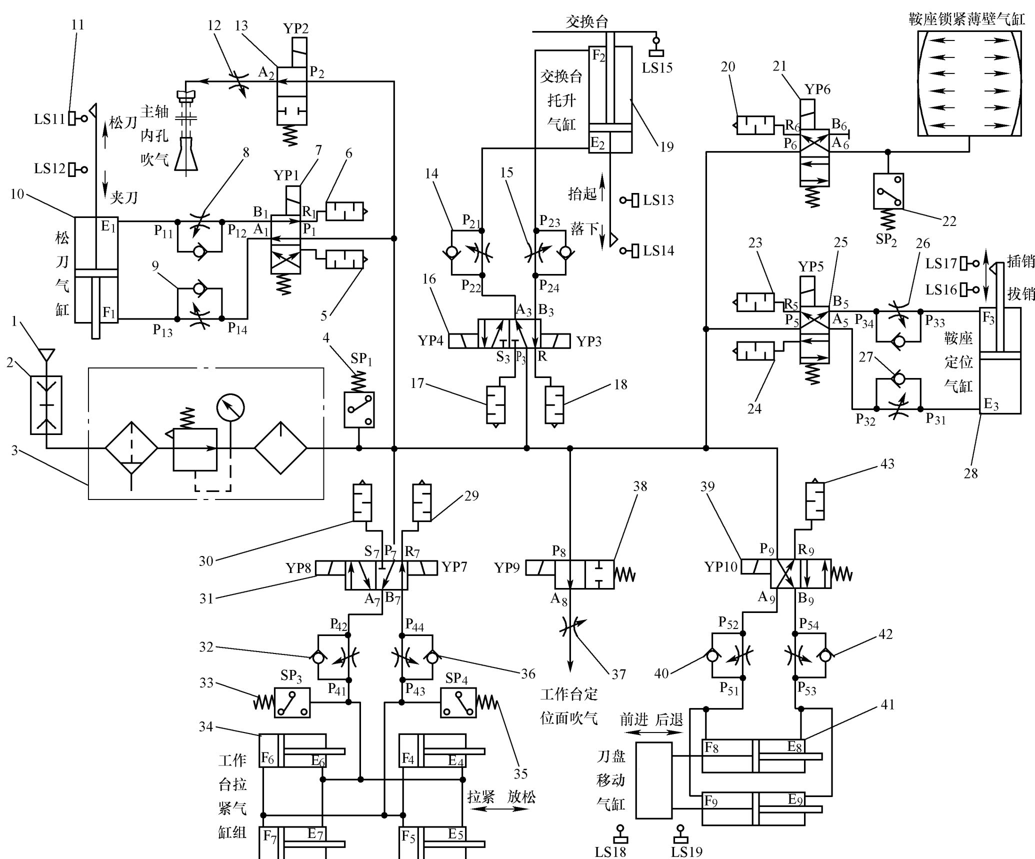


图 4-123　H400 型卧式加工中心的气动原理图

1—气源　2—快速接头　3—气动三联体（空气过滤器 + 减压阀 + 油雾器）　4、22、33、35—压力继电器
5、6、17、18、20、23、24、29、30、43—消声器　7、21、25、39—二位四通型电磁换向阀
8、9、14、15、26、27、32、36、40、42—气动单向节流阀　10、19、28、34、41—活塞式气缸
11—接近开关（LS11 ~ LS19）　12、37—可调节流阀　13、38—二位二通型电磁换向阀
16、31—二位五通型电磁换向阀

外伸出→同时松刀气缸 E_1 腔内的空气经单向节流阀 8（单向阀关闭且 P_{11} 至 P_{12} 节流调速以防气流冲击和振动产生）和阀口 B_1、R_1 及消声器 6 后向外排出→向外伸出的活塞杆 9 推动主轴组件中的顶杆 5 向左移动，并压缩蝶形弹簧 6（弹簧力大于 12kN 以保证刀具拉紧可靠）使夹爪 4（夹爪式夹紧机构）张开而松开刀柄 1 上的拉钉→主轴刀具便与主轴脱离→松刀过程中由接近开关 LS11 对活塞杆 9 向外伸出是否到位进行监控，并将到位信号反馈至 PLC 处理以进行换刀机构的协调控制。

2）主轴内锥孔吹气控制：在装入下一把刀具之前 PLC 向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.2→经中间继电器 KA2 过渡处理后→二位二通型气动电磁阀 13 的线圈 YP2 得电使阀口 P_2 与 A_2 接通→净化处理后的压缩空气经 P_2、A_2 和可调节流阀 12 进入主轴组件的中心喷水孔 13→进行主轴内锥孔吹气处理以吹掉内锥孔可能黏附的积屑等污物→用于避免刀具锥柄（锥度 7：24）与主轴内锥孔表面相互研伤/划伤而不能使刀柄正确定位进而影响工件加工精度，严重时工件报废→吹气延时一定时间后由失电的 Q＊＊.2 控制 YP2 断电→二位二通型气动电磁阀 13 在复位弹簧的作用下呈关闭状态。

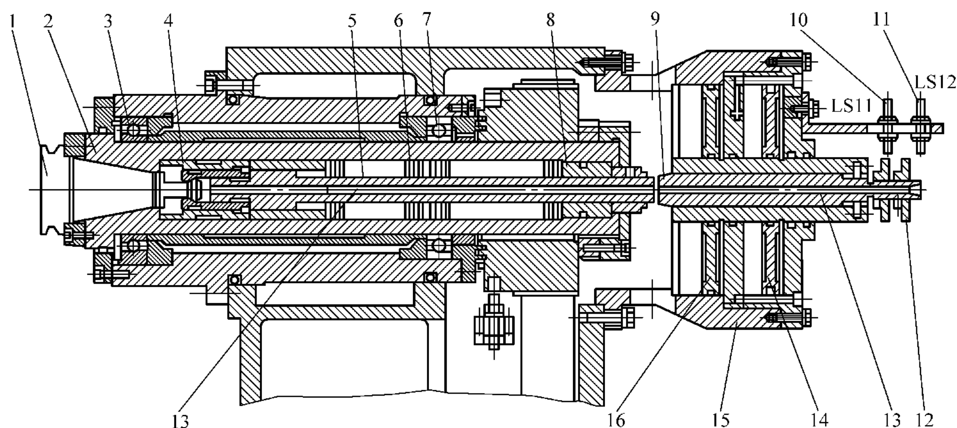


图 4-124 H400 型卧式加工中心的主轴组件结构图
1—刀具刀柄 2—主轴 3—前支承轴承 4—夹爪 5—顶杆 6—蝶形弹簧 7—后支承轴承
8—调整螺母 9—活塞杆 10、11—接近开关 12—感应块 13—中心喷水孔 14、16—活塞 15—气缸体

（3）机床双工作台的交换控制（见图 4-123） 交换台是实现双工作台交换的关键部件，因 H400 型卧式加工中心交换台的提升载荷较大（达 12kN）及工作过程中冲击较大，故采用大直径气缸（$D_1=350$mm）和内径 6mm 的气管。

1）交换台抬起控制：当机床处于 AUTO 或 MDA（FANUC 系统为 MDI）运行方式时，由 CNC 程序执行交换台抬起辅助功能代码（M83）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.3（FANUC 系统为 Y）→经中间继电器 KA3 过渡处理后→二位五通型双电控电磁阀 16 的线圈 YP3 得电使阀口 P_3 与 A_3 接通、B_3 与 R_3 接通且 S_3 关闭→净化处理后的压缩空气经 P_3、A_3 和单向节流阀 14（单向阀正向导通使 P_{22} 至 P_{21} 而节流阀不起作用）进入托升气缸 19 的 E_2 腔并推动活塞杆向外伸出→同时托升气缸 F_2 腔内空气经单向节流阀 15（单向阀关闭且 P_{23} 至 P_{24} 节流调速）和阀口 B_3、R_3 及消声器 18 后向外排出→伸出的活塞杆带动托叉连同工作台一起上升至抬起位→接近开关 LS13 检测抬起到位信号并反馈至 PLC 处理后→鞍座将在电动机和同步带及蜗轮—蜗杆机构的带动下回转一定的角度以交换工作台→接近开关 LS15 检测交换台回转到位信号并反馈至 PLC 处理以提示目标工作台已交换至加工位及机床可进行下一步操作（工作台落下）。

2）交换台落下前的吹气处理：在机床通过辅助功能代码（M84）控制交换台落下前→先由 CNC 程序执行工作台定位面吹气辅助功能代码（M89）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.9→经中间继电器 KA9 过渡处理后→二位二通型气动电磁阀 38 的线圈 YP9 得电使阀口 P_8 与 A_8 接通→净化处理后的压缩空气经 P_8、A_8 和可调节流阀 37 进入小活塞（位于工作台拉紧气缸组 34 的活塞中心）的通气孔→进行工作台定位面的吹气处理以吹掉定位锥表面可能黏附的积屑等污物→吹气延时一定时间后由失电的 Q＊＊.9 控制 YP9 断电→二位二通型气动电磁阀 38 在复位弹簧的作用下呈关闭状态。

3）交换台落下控制：工作台定位面吹气处理后→机床向下执行 CNC 程序中的工作台落下辅助功能代码（M84）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.4（Q＊＊.3 与 Q＊＊.4 互锁处理使两者不会同时得电）→经中间继电器 KA4 过渡处理后→二位五通型双电控电磁阀 16 的线圈 YP4 得电使阀口 P_3 与 B_3 接通、A_3 与 S_3 接通而 R_3 关闭→净化处理后的压缩空气经 P_3、B_3 和单向节流阀 15（单向阀正向导通使 P_{24} 至 P_{23} 而节流阀不起作用）进入托升气缸 19 的 F_2 腔使活塞杆退回→同时托升气缸 E_2 腔内的空气经单向节流

阀 14（单向阀关闭且 P_{21} 至 P_{22} 节流调速）和阀口 A_3、S_3 及消声器 17 后向外排出→退回的活塞杆带动托叉连同工作台在重力和托升气缸的共同作用下一起下降至落下位→接近开关 LS14 检测落下到位信号并反馈至 PLC 处理以提示双工作台交换完毕及机床可进行下一步操作（固定于鞍座上的交换工作台被拉紧）。

（4）交换工作台的拉紧与放松控制（见图 4-123）　H400 型卧式加工中心的交换工作台固定于鞍座上，可通过拉紧气缸组 34（由 4 个带 60°定位锥且缸内径为 63mm 的弹簧增力结构气缸组成）提供的超过 12kN 的拉力实现工作台与鞍座的拉紧动作。

1）工作台与鞍座的拉紧控制：当机床双工作台在 AUTO 或 MDA 运行方式下交换台落下后→CNC 程序向下执行工作台拉紧辅助功能代码（M87）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.7→经中间继电器 KA7 过渡处理后→二位五通型双电控电磁阀 31 的线圈 YP7 得电使阀口 P_7 与 A_7 接通、B_7 与 R_7 接通且 S_7 关闭→净化处理后的压缩空气经 P_7、A_7 和单向节流阀 32（单向阀正向导通使 P_{42} 至 P_{41} 而节流阀不起作用）进入拉紧气缸组 34 的 En 腔（n＝4～7）并推动活塞杆向内缩回→同时拉紧气缸组 Fn 腔内的空气经单向节流阀 36（单向阀关闭且 P_{43} 至 P_{44} 节流调速）和阀口 B_7、R_7 及消声器 29 后向外排出→退回的活塞杆通过钢珠拉套机构（见图 4-125）拉紧工作台的拉钉 2 以完成工作台与鞍座的拉紧动作。

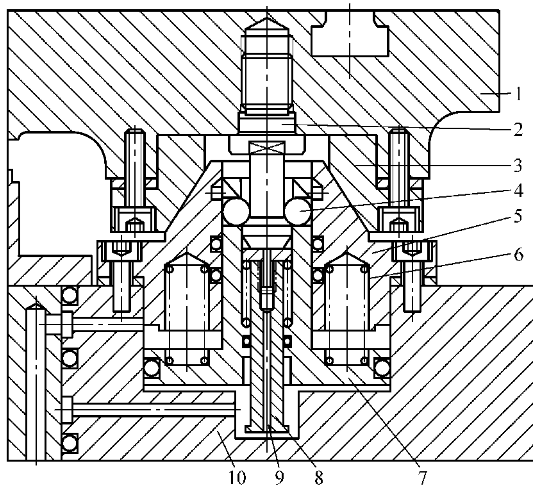


图 4-125　H400 型卧式加工中心工作台与鞍座的钢珠拉套机构图
1—工作台　2—拉钉　3—定位锥　4—钢球　5—下定位锥　6—弹簧
7—拉紧气缸的活塞　8—小活塞　9—通气孔　10—鞍座

2）工作台与鞍座的放松控制：在机床通过辅助功能代码（M83）控制交换台抬起之前→先由 CNC 程序执行工作台与鞍座放松辅助功能代码（M88）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.8（Q＊＊.7 与 Q＊＊.8 互锁处理使两者不会同时得电）→经中间继电器 KA8 过渡处理后→二位五通型双电控电磁阀 31 的线圈 YP8 得电使阀口 P_7 与 B_7 接通、A_7 与 S_7 接通而 R_7 关闭→净化处理后的压缩空气经 P_7、B_7 和单向节流阀 36（单向阀正向导通使 P_{44} 至 P_{43} 而节流阀不起作用）进入拉紧气缸组 34 的 Fn 腔并推动活塞杆向外伸出→同时拉紧气缸组 En 腔内的空气经单向节流阀 32（单向阀关闭且 P_{41} 至 P_{42} 节流调速）和阀口 A_7、S_7 及消声器 30 后向外排出→伸出的活塞杆通过钢珠拉套机构释放工作台的拉钉以使工作台与鞍座放松→机床进行下一步操作（交换台抬起）。

3）因受工作台和鞍座结构的限制而采用接近开关检测放松/拉紧到位信号较困难，故通过可

调工作点的压力继电器 33 和 35 检测气体压力来作为放松/拉紧到位信号。

（5）鞍座的定位与锁紧控制（见图 4-123） H400 型卧式加工中心的工作台具有回转分度功能，与工作台连为一体的鞍座可通过蜗轮—蜗杆机构相对于床鞍实现回转运动，并分别采用插销和可变形的薄壁气缸实现床鞍和鞍座间的定位与锁紧。

1）定位销拔出：处于 AUTO 或 MDA（FANUC 系统为 MDI）运行方式的机床通过 CNC 程序执行鞍座回转辅助功能代码（M85）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.5→经中间继电器 KA5 过渡处理后→二位四通型单电控电磁阀 25 的线圈 YP5 得电使阀口 P_5 与 B_5 接通、A_5 与 R_5 接通→净化处理后的压缩空气经 P_5、B_5 和单向节流阀 26（单向阀正向导通使 P_{34} 至 P_{33} 而节流阀不起作用）进入鞍座定位气缸 28 的 F_3 腔并推动活塞杆向内缩回→同时鞍座定位气缸 E_3 腔内的空气经单向节流阀 27（单向阀关闭且 P_{31} 至 P_{32} 节流调速）和阀口 A_5、R_5 及消声器 23 后向外排出→退回的活塞杆带动定位销自定位孔中拔出→拔销位的接近开关 LS16 获取信号并反馈至 PLC 处理以提示拔销完毕及机床进行下一步操作（鞍座与床鞍分离）。

2）鞍座与床鞍分离：当定位销拔出后→CNC 程序向下执行鞍座释放辅助功能代码（M86）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊＊.6→经中间继电器 KA6 过渡处理后→二位四通型单电控电磁阀 21 的线圈 YP6 得电使阀口 P_6 与 B_6（已被螺堵堵死）接通、A_6 与 R_6 接通→锁紧薄壁气缸内的高压气体经阀口 A_6、R_6 和消声器 20 后向外排出→锁紧活塞弹性变形回复使鞍座与床鞍分离→鞍座放松到位后通过可调工作点的压力继电器 22（因受鞍座和床鞍结构的限制而采用接近开关检测放松/锁紧信号较困难）向 PLC 反馈信号→以提示鞍座与床鞍已分离及机床可进行下一步操作（鞍座回转）。

3）鞍座的回转与定位锁紧：待鞍座与床鞍分离后→数控系统向机床侧发出鞍座回转控制指令→鞍座在电动机和同步带及蜗轮—蜗杆机构的带动下进行回转运动→待到达预定位置后接近开关向 PLC 反馈回转到位信号并由 PLC 控制回转运动停止以完成初次定位→同时处于得电状态的电磁阀线圈 YP5 断电使阀口 P_5 与 A_5 接通、B_5 与 R_5 接通→压缩空气经阀口 P_5、A_5 和单向节流阀 27（单向阀正向导通使 P_{32} 至 P_{31} 而节流阀不起作用）进入鞍座定位气缸 28 的 E_3 腔并推动活塞杆向外伸出→同时鞍座定位气缸 F_3 腔内的空气经单向节流阀 26（单向阀关闭且 P_{33} 至 P_{34} 节流调速）和阀口 B_5、R_5 及消声器 24 后向外排出→伸出的活塞杆带动定位销插入定位孔中以进行回转运动的精确定位→插销位的接近开关 LS17 获取信号并反馈至 PLC 处理以提示插销完毕→PLC 通过失电的 Q＊＊.6 使线圈 YP6 断电→气动电磁阀 21 在复位弹簧的作用下使阀口 P_6 与 A_6 接通、B_6 与 R_6 接通→高压气体进入锁紧薄壁气缸内使锁紧活塞变形膨胀而实现鞍座与床鞍的夹紧→鞍座夹紧到位后通过可调工作点的压力继电器 22 向 PLC 反馈信号以提示鞍座回转动作完成。

（6）刀盘的前后移动控制（见图 4-123） H400 型卧式加工中心的刀库采用具有 10 个刀位的盘式刀库。在机床执行辅助功能代码进行自动换刀时，刀盘移动气缸会驱动刀盘前后移动以配合主轴的上下左右方向的运动，从而实现刀具的装卸。

1）刀盘前进：机床处于 AUTO 或 MDA 运行方式时由 CNC 程序执行刀盘前进辅助功能代码（M76）→PLC 通过接口信号读取 M 代码信号并进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q＊1.0→经中间继电器 KA10 过渡处理后→二位四通型气动电磁阀 39 的线圈 YP10 得电使阀口 P_9 与 B_9 接通、A_9 与 R_9 接通→压缩空气经 P_9、B_9 和单向节流阀 42（单向阀正向导通使 P_{54} 至 P_{53} 而节流阀不起作用）进入刀盘移动气缸 41 的 Em 腔（m＝8，9）并推动活塞杆向外伸出→同时刀盘移动气缸 Fm 腔内的空气经单向节流阀 40（单向阀关闭且 P_{51} 至 P_{52} 节流调速）和阀口 A_9、R_9 及消声器 43 后向外排出→伸出的活塞杆带动刀盘前进至主轴换刀点→接近开关 LS18 检测刀盘前进到位信号并反馈至 PLC 处理后通知机床进行下一步操作（刀盘回转将待更换的目标刀具转至主

轴正前方）。

2）刀盘后退：待机床主轴完成抓刀和夹刀等动作后→PLC 通过失电的 Q＊1.0 使线圈 YP10 断电→气动电磁换向阀 39 在复位弹簧作用下使阀口 P_9 与 A_9 接通、B_9 与 R_9 接通→压缩空气经 P_9、A_9 和单向节流阀 40（单向阀正向导通使 P_{52} 至 P_{51} 而节流阀不起作用）进入刀盘移动气缸 41 的 Fm 腔并推动活塞杆向内缩回→同时刀盘移动气缸 Em 腔内的空气经单向节流阀 42（单向阀关闭且 P_{53} 至 P_{54} 节流调速）和阀口 B_9、R_9 及消声器 43 后向外排出→退回的活塞杆带动刀盘后退至刀库取刀点→接近开关 LS19 检测刀盘后退到位信号并反馈至 PLC 处理后通知机床进行下一步操作（主轴已用完旧刀具送回刀库）。

4.3.4　气动系统在 Oerlikon－C50 型螺旋锥齿轮滚齿机上的应用

Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机是一种利用持续分度法或个别分度法对所有节距形式的螺旋锥齿轮和准双曲面锥齿轮进行批量干式切削加工（渗碳硬化型金属滚刀）的 6 轴式高效数控机床（见图 4-126），涉及 3 个垂直结构布置且直接传动的驱动系——刀具驱动系、工件驱动系和基角驱动系，其中刀具驱动系包含控制刀具旋转的 *A* 轴（即刀盘主轴）、用于刀具切深进给且行程为 610mm 的 *X* 轴（铣削深度）、进行刀具水平定位且行程为 820mm 的 *Y* 轴、控制倒角滚刀旋转的 *Q* 轴与定位用的 *X*2 轴，工件驱动系包含控制工件旋转的 *B* 轴（即工件主轴）以及用于工件水平定位且行程为 230mm 的 *Z* 轴，基角驱动系仅有一根用于工件摆动控制且回转范围为 ±90°的 *C* 轴（基角）。为了满足硬化金属滚刀干式切削的要求，达到清洁生产的目标，降低机床制造成本及提高使用安全性，特采用气压传动系统（见图 4-127）来完成该机床线性标尺（即海德汉光栅尺）的防尘吹气、左右两侧机床防护门的开/关、内置上料系统装载轴上定心卡爪的张开/闭合、*C* 轴气压制动、工件夹紧芯轴的夹紧/松开与夹紧力调整、工件就位控制等辅助动作。

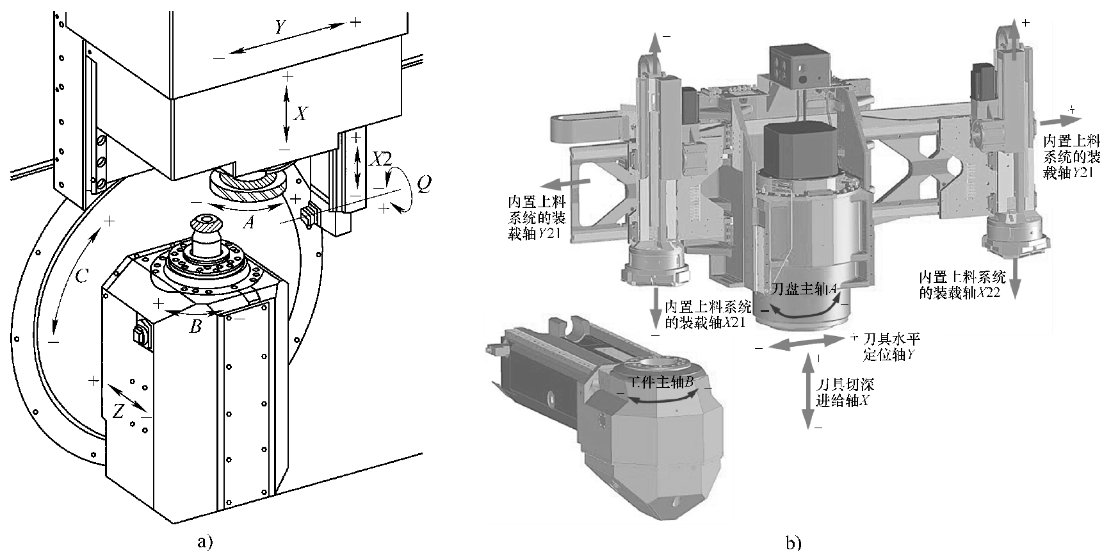


图 4-126　Oerlikon－C50 型螺旋锥齿轮滚齿机中各运动轴与内置上料系统装载轴的分布及旋向
a）机床各运动轴的分布及旋转方向　b）机床内置上料系统装载轴的分布及旋转方向

（1）气源供应与处理（见图 4-127）　Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机的气动系统要求提供额定压力为 0.6MPa 且流量为 600l/min 的压缩空气，并通过规格为 HE－D－MIDI 的

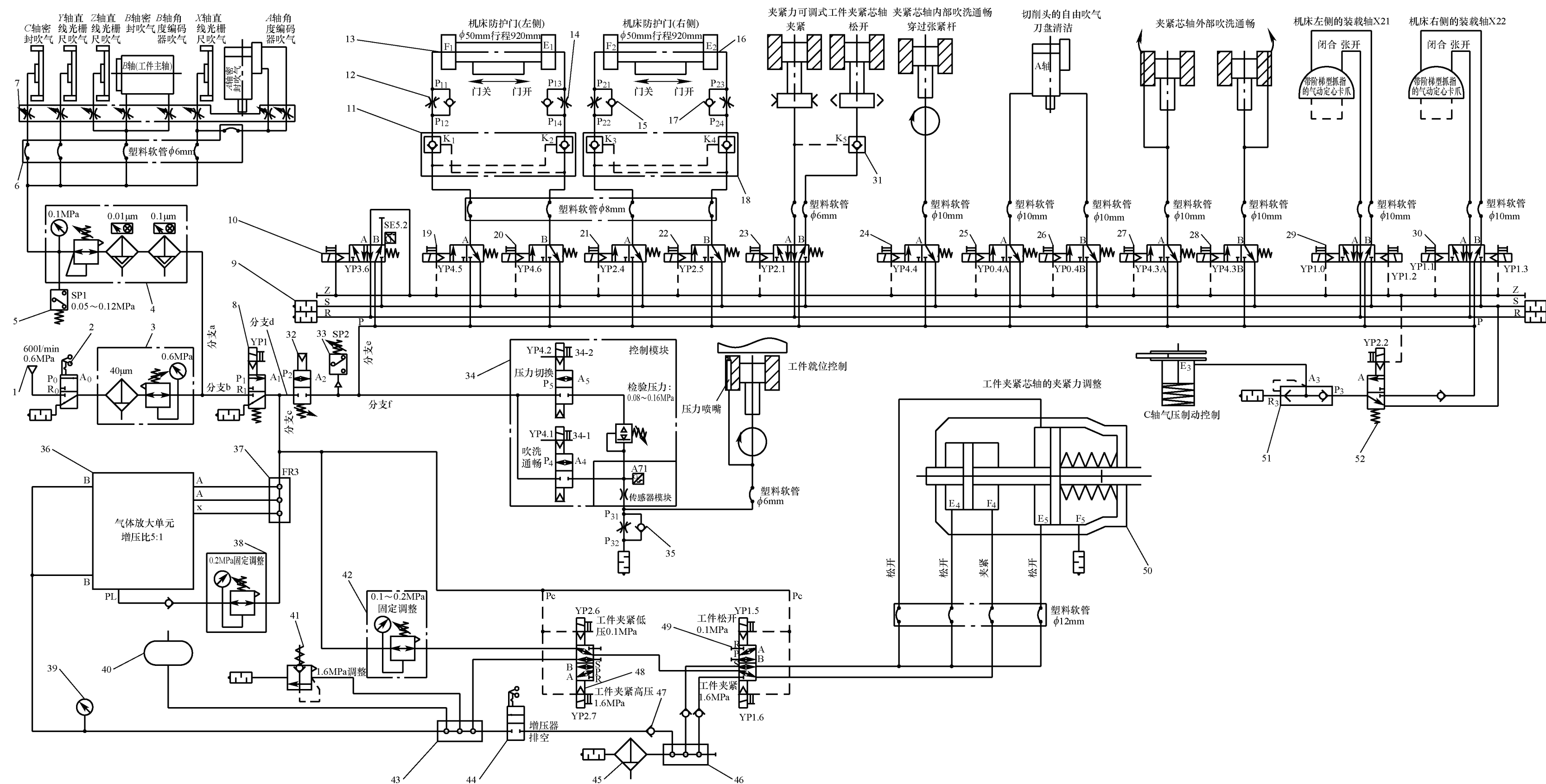


图 4-127　Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机的气动原理图

1—气源　2—二位三通型手柄记忆式换向阀　3—Midi 型过滤减压阀　4—线性标尺气源处理　5、33—压力继电器　6—塑料软管　7—可调节流阀　8、19～22、24～28、52—二位三通型电气先导式换向阀　9—消声器　10、23—二位五通型电气先导式换向阀　11、18、31—先导式单向阀　12、14、15、17、35—单向节流阀　13、16—双作用 DGP 无杆气缸　29、30、48、49—二位五通型双电气先导式换向阀　32—软启动阀（二位二通型气控换向阀）　34—气动间隙式传感器　36—增压器 GPLV5　37、43、46—分气块　38、42—FESTO 减压阀　39—压力表（0～10MPa）　40—储气罐　41—安全阀　44—FESTO 球阀　45—过滤消声器　47—单向阀　50—夹紧气缸　51—快速排气阀

二位三通型手柄记忆式换向阀2（又称气源安全启动阀）接入系统中。当换向阀2的手柄扳至图中虚线位置时，向上移动的阀芯使阀口 P_0 与 A_0 接通，压缩空气经规格为 LFRS－1/4-D－O－MIDI－A 的过滤减压阀3进行杂质过滤（过滤精度40μm）和压力调低稳压后，通过规格为 FRM－D－MIDI 的 FESTO 分气块分为2条支路——1条用于机床线性标尺的防尘吹气，而另1条则用于机床防护门和工件夹紧芯轴等其他控制。分支气体a经线性标尺气源处理4进行两次精过滤（过滤精度0.1μm和0.01μm）和一次减压后，以0.1MPa压力向机床各轴的线性标尺供应。分支气体b通过规格为 HEE－D－MDI－24 的二位三通型电气先导式换向阀8（又称安全启动阀）的阀口 P_1 和 A_1 后，由规格为 FRZ－D－MIDI 的 FESTO 分气块分为二次支路c和d。其中分支气体c用于工件夹紧芯轴的夹紧力调整控制，分支气体d再通过规格为 HEL－D－MIDI 的二位三通型气压先导式换向阀32（又称软启动阀）和 FRM－D－MIDI 分气块分为三次支路e和f——分支e用于机床防护门和刀盘清洁等控制，而分支f则用于工件就位控制。

（2）线性标尺的防尘吹气控制（见图4-127）　经0.1μm精密过滤器（规格 LFMA－D－MINI－DA－A）和0.01μm精细过滤器（规格 LFMB－D－MINI－DA－A）处理以及减压阀（规格 LRS－1/4-D－0－MINI）的降压稳压后，压力为0.1MPa的分支气体a不仅会通过塑料软管6（ϕ6mm）和可调式节流阀7向机床 *X*、*Y*、*Z* 轴上 LC183 型直线光栅尺和 *A*、*B* 轴上 ERA4880 型角度编码器、*C* 轴上 ERA881C 型角度编码器进行吹气（见图4-128），以期分别在光栅尺壳内和防护盖内用压缩空气建立起防护等级为 IP64 和 IP40 的正压环境，从而有效防止粉尘等污物的进入；还会对机床的 *A*、*B*、*C* 轴进行迷宫式吹气以防止粉尘和积屑微粒等污染轴承，进而确保轴的使用寿命和良好加工精度。为保证防尘吹气环节的稳定安全运行及提高机床工作的可靠性，需用压力继电器5（SDE5－D10－O3－Q6E）对分支气体a的压力进行监控，即达到额定压力0.1MPa时由SP1向机床侧发出电参量开关信号以通知机床防尘吹气环节工作正常。

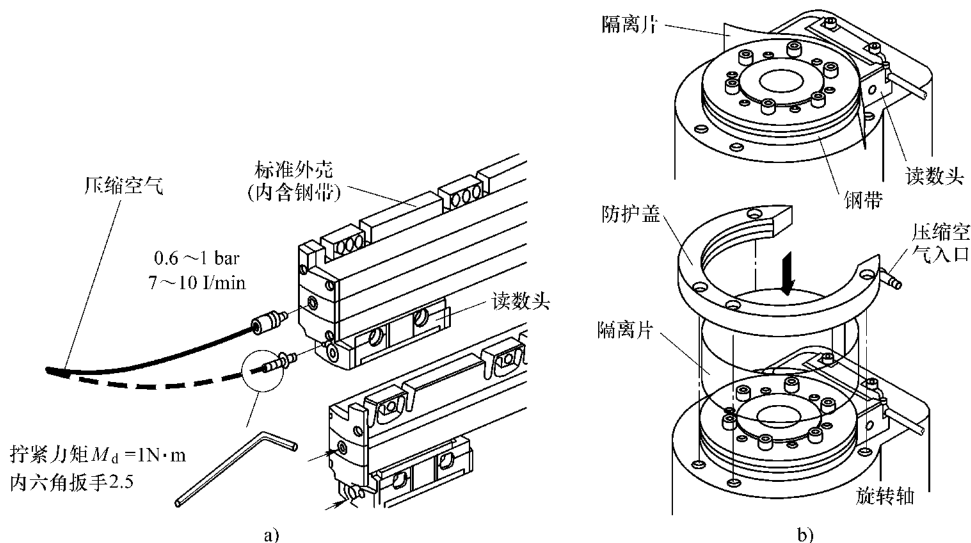


图4-128　直线光栅尺和角度编码器中压缩空气的接入示意图

a）直线光栅尺　b）角度编码器

（3）机床左、右两侧防护门的开/关控制（见图4-127）　以左侧防护门为例介绍其控制过程。

1）左门开：机床启动就绪后→S7－300PLC 向机床侧输出线圈控制信号 Q3.6→二位五通型

换向阀 10 的线圈 YP3.6 得电→其先导阀在电磁力的推动下接入压力为 0.6MPa 的控制气体 p_z，并由 p_z 推动主阀芯右移而使阀口 P 与 A 接通、B 与 S 接通及 R 关闭→如此规格为 VSVA－B－T32C－AZD－A1－1T1L 的二位三通型换向阀 19 所需的先导控制气体 p_Z 准备好并等待接入→当数控系统向 PLC 侧发送左门开控制请求信号时→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q4.5→二位三通型换向阀 19 的 DC24（1±10%）V 线圈 YP4.5 得电（YP4.6 断电）→在电磁力推动下先导控制气体 p_Z 接入并推动该电磁阀的主阀芯右移进而使阀口 P 与 A 接通、S 关闭→分支气体 e 经电磁阀 19 的阀口 P、A 和先导式单向阀 11（K1）及规格为 HGL－1/8－1/8－B 的单向节流阀 12（单向阀正向导通使 P_{12} 至 P_{11} 而节流阀不起作用）进入规格为 DGP－50－920－PPV－A－B－GK－D2－FK 的双作用无杆气缸 13（磁性无杆气缸结构如图 4-129 所示）的 F_1 腔内→气压推动的活塞在磁力作用下带动缸筒外的磁环套一起向右移动→与此同时先导式单向阀 11（K2）在控制气压 p_{K2} 的作用下反向打开使无杆气缸 E_1 腔内的空气经单向节流阀 14（单向阀关闭且 P_{13} 至 P_{14} 节流调速）和二位三通型换向阀 20 的阀口 B 与 S 以及消声器后向外排出→由此机床左侧门打开。

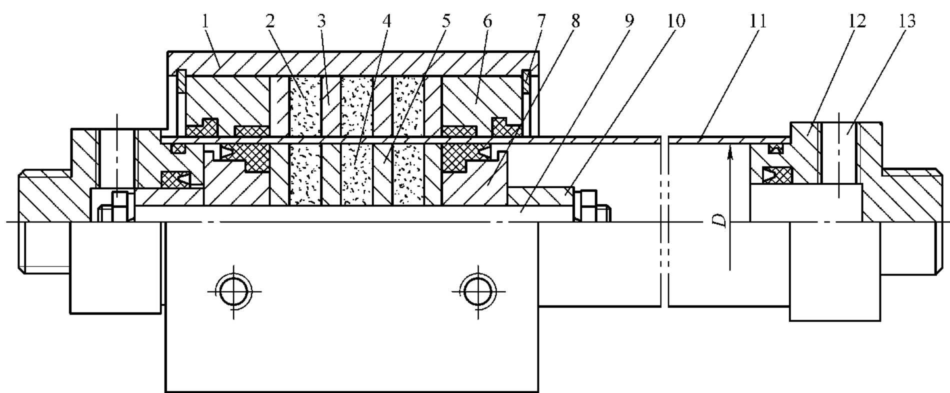


图 4-129 磁性无杆气缸结构示意图

1—套筒 2—外磁环 3—外磁导板 4—内磁环 5—内磁导板 6—压盖 7—卡环
8—活塞 9—活塞轴 10—缓冲柱塞 11—气缸筒 12—端盖 13—进/排气口

2）左门关：先通过线圈 YP3.6 得电控制二位五通型换向阀 10 将压力为 0.6MPa 的先导控制气体 p_Z 准备好而处于等待接入状态→当数控系统向 PLC 侧发送左门关控制请求信号时→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q4.6→二位三通型换向阀 20 的线圈 YP4.6 得电（YP4.5 断电）→在电磁力推动下先导控制气体 p_Z 接入并推动该换向阀的主阀芯右移进而使阀口 P 与 B 接通、S 关闭→分支气体 e 经换向阀 20 的阀口 P、B 和先导式单向阀 11（K2）及单向节流阀 14（单向阀正向导通使 P_{14} 至 P_{13} 而节流阀不起作用）进入 FESTO 双作用无杆气缸 13 的 E_1 腔内→气压推动的活塞在磁力作用下带动缸筒外的磁环套一起向左移动→与此同时先导式单向阀 11（K1）在控制气压 p_{K1} 的作用下反向打开使无杆气缸 F_1 腔内的空气经单向节流阀 12（单向阀关闭且 P_{11} 至 P_{12} 节流调速）和二位三通型换向阀 19 的阀口 A 与 S 以及消声器后向外排出→由此机床左侧门关闭。

（4）机床内置上料系统左、右两侧装载轴上定心卡爪的张开/闭合控制（见图 4-127） 以左侧装载轴 $X21$ 为例介绍定心卡爪的控制过程。

1）左卡爪张开：先通过线圈 YP3.6 得电控制二位五通型换向阀 10 将压力为 0.6MPa 的先导控制气体 p_Z 准备好而处于等待接入状态→当数控系统向 PLC 侧发送左卡爪张开控制请求信号时→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q1.0（Q1.0 与 Q1.2 互锁处

理使两者不会同时得电）→规格为 VSVA－B－B52－ZD－A1－1T1L 的二位五通型换向阀29的线圈 YP1.0 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_Z 接入并推动该换向阀的主阀芯右移进而使阀口 P 与 A 接通、B 与 S 接通、R 关闭→分支气体 e 经换向阀29的阀口 P 和 A 进入气动定心卡爪（见图4-130）的活塞缸内→3个阶梯型爪指便同时同步向外移动以释放被夹持的盘形齿轮等工件。

2）左卡爪闭合：当数控系统向 PLC 侧发送左卡爪闭合控制请求信号时→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q1.2→二位五通型换向阀29的线圈 YP1.2 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_Z 接入并推动该电磁阀的主阀芯左移进而使阀口 P 与 B 接通、A 与 R 接通、S 关闭→分支气体 e 经换向阀29的阀口 P 和 B 进入气动定心卡爪的活塞缸内→3个阶梯型爪指便同时同步向内移动以夹住盘形齿轮等目标工件。

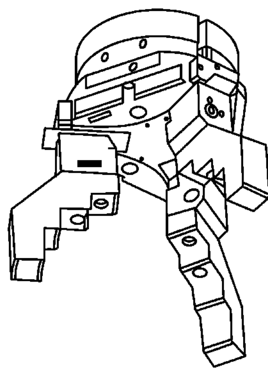


图4-130 带有3个阶梯型爪指的气动定心卡爪

（5）*C* 轴气压制动控制（见图4-127、图4-131） 先通过线圈 YP3.6 得电控制二位五通型换向阀10将压力为0.6MPa的先导控制气体 p_Z 准备好而处于等待接入状态→当齿轮加工程序要求机床的 *C* 轴摆动一定角度（基角）时，数控系统向 PLC 侧发送 *C* 轴摆动请求信号→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q2.2→二位三通型换向阀52的线圈 YP2.2 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_Z 接入并推动该换向阀的主阀芯向弹簧侧移动进而使阀口 P 与 A 接通、S 关闭→分支气体 e 顶开单向阀后通过换向阀52的阀口 P 和 A 到达快速排气阀51的 P_3 口→气体压力不仅使快速排气阀的唇形密封圈左移以封闭其快速排气口，还会压缩密封圈的唇边以导通阀口 P_3 与 A_3→由此分支气体进入 *C* 轴气压制动缸的 E_3 腔内使活塞克服弹簧作用力下移→*C* 轴制动释放以进行基角摆动→当 *C* 轴摆动到位后 PLC 会通过失电的 Q2.2 使线圈 YP2.2 断电→气动换向阀52在复位弹簧作用下使其阀口 P 关闭→快速排气阀51因阀口 P_3 的气体压力消失而使其唇形密封圈张开后将通道 A_3 与 P_3 封闭→同时来自气压制动缸 E_3 腔的气体经快速排气阀的 A_3 口迫使密封圈右移后将通道 A_3 与 R_3 导通，并通过快速排气口和消音器向大气中快速排气→进而气压制动缸的活塞在弹簧力的作用下向上移动以完成 *C* 轴的制动。

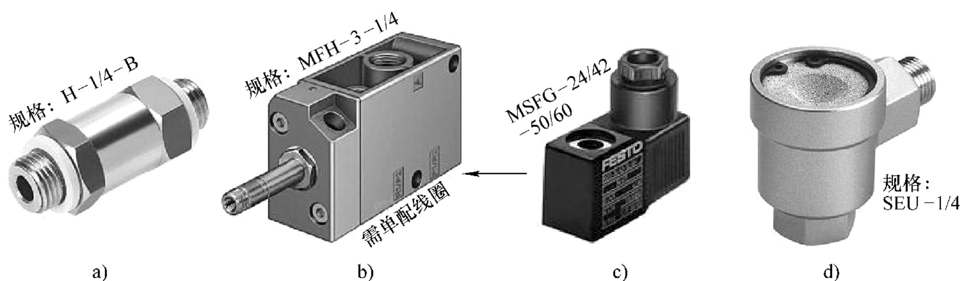


图4-131 *C* 轴气压制动所用控制元件实物图

a）单向阀 b）二位三通型电磁阀 c）电磁线圈 d）快速排气阀

（6）工件就位控制（见图4-127） Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机采用规格为 SOPA－CM1H－R1－WQ6－2P－M12 型气动间隙式传感器（见图4-132）在 μm 等级内通过对盘形齿轮等被加工件夹紧前所受气体压力（即正常压力）与夹紧后所受气体压力（即检验压力0.8～1.6MPa 并通过单向节流阀35调节）间差值的精确测量，来自动判定工件是否正确夹紧。一旦压力有偏差，则会在操作面板的显示屏上出现1个“工件未正确夹紧”的错误信息。工作时由机床内置上料系统装载轴上的气动定心卡爪抓取工件并移动至夹紧机构正上方30mm左右→S7－

300PLC 根据数控系统发送的请求向机床侧输出线圈控制信号 Q4.1→气动间隙式传感器中二位二通型电磁阀的线圈 YP4.1 得电使其阀口 P_4 与 A_4 接通→分支气体 f 通过阀口 P_4、A_4 和夹持机构中的压力喷嘴后对工件下平面（与夹持机构接触）进行吹洗以清除积屑等异物确保夹紧时接触良好和定位准确→吹洗延时结束后将工件放置在夹持机构上→S7－300PLC 根据向机床侧输出线圈控制信号 Q4.2→气动间隙式传感器中二位二通型电磁阀的线圈 YP4.2 得电使其阀口 P_5 与 A_5 接通→分支气体 f 通过阀口 P_5、A_5 和夹持机构中的压力喷嘴后对夹紧前的工件下平面吹气→传感器元件 A 获取气体压力 p_2 以判定工件是否放置正确并以电参量开关信号的形式反馈给 PLC→S7－300PLC 向机床侧输出工件夹紧控制信号以夹紧工件→传感器元件 B 将距离变化（测量范围 20～200μm）转化为气体压力变化（检验压力 p_1）→当工件夹紧就位后检验压力 p_1 以电参量开关信号的形式反馈给 PLC→S7－300PLC 通过接口信号向数控系统回馈工件夹紧就绪信息并在数控系统的控制下进行下一步操作。

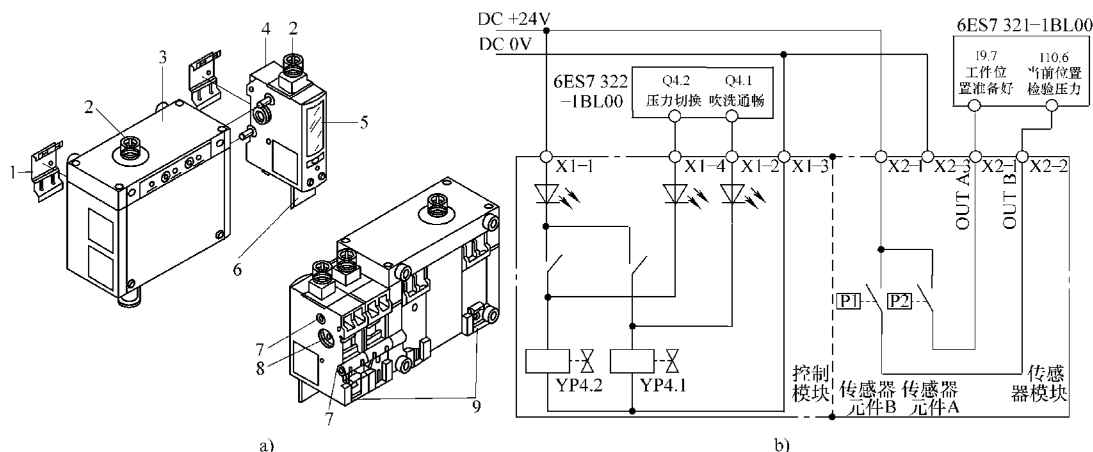


图 4-132 SOPA－CM1H－R1－WQ6－2P－M12 型气动间隙式传感器机械布置图及其控制电路

a）机械电气布置图 b）控制电路

1—墙面安装适配板 2—电气插头 3—控制模块 4—传感器模块 5—显示屏 6—标签支架 7—螺纹套管 8—M7 螺塞 9—紧固滑扣

（7）工件夹紧芯轴的夹紧力调整（见图 4-127） Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机中工件夹紧芯轴的夹紧力可根据盘形齿轮等被加工件的特性进行调整。

1）工件低压夹紧：在分支气体 p_c（0.6MPa）作为二位五通型换向阀 48 和 49 的先导控制气体准备好并处于等待接入状态的前提下→数控系统向 PLC 侧发送工件低压夹紧请求信号时→S7－300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q1.6 和 Q2.6（Q1.5 与 Q1.6 及 Q2.6 与 Q2.7 均互锁处理使彼此不会同时得电）→规格为 JMN1H－5/2－D－2－S－C 的二位五通型换向阀 49、48 的线圈 YP1.6 和 YP2.6 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_C 接入并推动换向阀主阀芯向远端移动→进而换向阀 49 和 48 的阀口 P 与 B 接通、A 与 R 接通、S 关闭→如此经减压阀 42 调节（0.1MPa）后的分支气体 c 通过换向阀 48 和 49 的相应阀口进入夹紧气缸 50 的 F_4 腔内使活塞向外伸出→同时夹紧气缸 E_4 和 E_5 腔内的气体会经换向阀 49 的阀口 A、R 和单向阀、FR－4-3/8－B 型分气块 46 及 LFU－1/4 型过滤消声器 45 后向外排出→此时夹紧气缸在蝶形弹簧和 0.1MPa 的气体压力作用下向外伸出以夹紧工件。

2）工件低压松开：数控系统向 PLC 侧发送工件低压松开请求信号时→S7－300PLC 收到请求

进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q1.5→二位五通型换向阀 49 的线圈 YP1.5 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_C 接入并推动换向阀主阀芯向远端移动→进而换向阀 49 的阀口 P 与 A 接通、B 与 S 接通、R 关闭→如此经减压阀 42 调节后的分支气体 c 通过电磁阀 48 和 49 的相应阀口进入夹紧气缸 50 的 E_4、E_5 腔内使活塞克服蝶形弹簧作用力而向内缩回→同时夹紧气缸 F_4 腔内的气体会经换向阀 49 的阀口 B、S 和单向阀、分气块 46 及过滤消声器 45 后向外排出而 F_5 腔内气体直接经消声器排出。

3）工件高压夹紧：在分支气体 c（0.6MPa）作为二位五通型换向阀 48 和 49 的先导控制气体准备好并处于等待接入状态的前提下→数控系统向 PLC 侧发送工件高压夹紧请求信号时→S7-300PLC 收到请求进行逻辑处理后向机床侧输出线圈控制信号 Q1.6 和 Q2.7→二位五通型换向阀 49、48 的线圈 YP1.6 和 YP2.7 得电→在电磁力推动下先导控制气体 p_C 接入并推动换向阀主阀芯向远端移动→进而换向阀 49 的阀口 P 与 A 接通、B 与 S 接通、R 关闭以及换向阀 48 的阀口 P 与 B 接通、A 与 R 接通、S 关闭→如此经增压器 36 放大 5 倍后的分支气体 c 通过分气块 43 对规格为 VZS-20-B 的储气罐 40 进行充气以用做工件夹紧的应急气源→同时通过换向阀 48 和 49 的相应阀口进入夹紧气缸 50 的 F_4 腔内使活塞向外伸出→而夹紧气缸 E_4 和 E_5 腔内的气体会经换向阀 49 的阀口 A、R 和单向阀、分气块 46 及过滤消声器 45 后向外排出→如此夹紧气缸在蝶形弹簧和 1.6MPa（可由减压阀 38 调节以增大或减小此值）的气体压力作用下向外伸出以夹紧工件→当增压后的气体压力超过安全阀 41 的设定值时，多余气体便会通过该安全阀进行卸压以保证气动系统安全运行。

4）工件高压松开：除换向阀 48 的阀口位置不同外，其他与“工件低压松开”的控制过程相同。

4.4　冷却装置及故障

数控机床对机械零件进行车削、钻削、铣削和磨削以及滚齿与剃齿等加工时，常需配置单机用冷却装置或机群（由多台数控机床组成）用冷却装置，以满足迅速降低加工温度和稳定工件加工尺寸、延长刀具使用寿命和减少停机换刀时间、减小切削力和降低加工表面粗糙度、有效清除加工区的铁屑或微粒及防止已加工表面锈蚀等要求。冷却装置的工作介质（见表 4-52）既可为气体冷却剂（通常为 0.4～0.7MPa 的压缩干空气）的干式切削形式，也可为油基切削液（即切削油）或水基切削液的湿式切削形式。因气体形式的冷却装置所用元器件附属于机床的气动系统，故此处不再赘述；由此后面所说的冷却装置为切削液形式的冷却装置，且该形式的冷却装置在数控机床上应用相当广泛。

表 4-52　数控机床冷却装置的常用工作介质及其性能特点

介质形式	详细分类	性能特点
气体冷却剂	周围空气	在不用切削液的干式切削条件下，利用周围空气自然地对切削区起一定的冷却作用，并通过刀具与切屑间、刀具与工件界面间形成的氧化膜起到一定的固体润滑作用。此种未经人为控制的冷却形式不但冷却效果极差，而且在切削过程中刀具会出现“氧化磨损”等现象
	压缩空气	为提高气体冷却效果，通常把 0.4～0.7MPa 的压缩干空气以较快的流速喷射到切削区，既可带走切削热又可吹洗残屑，可用于深孔加工等场合

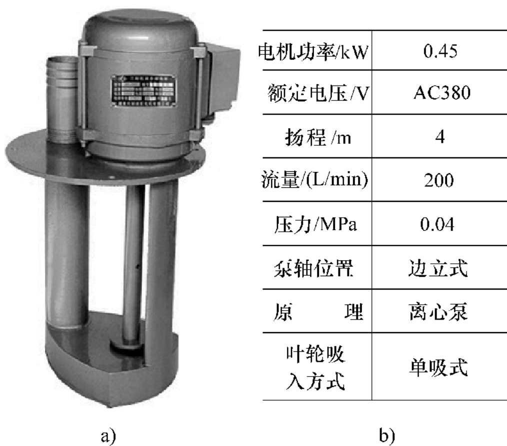
（续）

介质形式		详细分类	性 能 特 点
液体切削液	油基切削液	纯矿物油（L-MHA）	使用煤油、柴油等轻质油和 L-AN7、L-AN10、L-AN15、L-AN22、L-AN32 等全损耗系统油，其中轻质油主要用于铸铁件的切削和珩磨及研磨加工以促进铁粉和砂轮灰的沉降。纯矿物油成本低、稳定性好，对金属不腐蚀，使用周期长，且当少量切削油漏入齿轮箱、轴承和液压系统中或部分润滑油漏入切削油内时均不影响机床的使用性能。因其不含润滑添加剂使得润滑效果较差及承载能力低，故一般仅用于轻负荷切削及易切削钢材和有色金属的加工
		脂肪油或油性添加剂+矿物油（L-MHB）	脂肪油主要由脂肪酸甘油酯组成，具有良好的润滑性能和较强的金属表面吸附能力，但易氧化变质并在机床表面形成难以清洗的黏膜（即黄袍）。它亦可按约 10%～30% 的比例加入矿物油中以提高后者的润滑效果从而用于精车丝杆、插齿、刨齿和拉削等加工。因脂肪油（菜籽油、豆油和猪油等）的货源较少而逐渐被油性添加剂替代
		非活性极压切削油（L-MHC）	由矿物油与氯化石蜡、磷酸酯、硫化脂肪油等非活性极压添加剂组成的非活性极压切削油，经 100℃、3h 的腐蚀试验后铜片腐蚀程度为 2 级以下（即中等程度均匀变色）。此类切削油因极压润滑性好且不腐蚀有色金属而被广泛用于多种切削加工
		活性极压切削油（L-MHD）	由矿物油与反应性强的硫系极压添加剂配制而成。此类切削油对铜片的腐蚀为 3～4 级且会严重腐蚀有色金属，既具有良好的抗烧结性能和极压润滑性又对刀具积屑瘤有强的控制能力（可提高高温高压条件下刀具的使用寿命），多被用于易啃刀材料和难加工材料的切削加工
		复合切削油（L-MHE 和 L-MHF）	由矿物油与油性添加剂和极压添加剂配制而成，其中高级脂肪酸或脂肪油等油性添加剂可在较低温度的金属表面产生物理吸附和化学吸附以形成一个分子膜吸附层，从而降低切削时的摩擦阻力；一旦温度超过 200℃时添加剂中的极性化合物会因解吸和分解而失去润滑作用，此时就由硫、磷、氯极压添加剂发挥作用。此类切削油适合于多工位切削及多种材料的切削加工
	水基切削液	乳化液	是乳化油与水配置而成的乳白色不透明稀释液，乳化油主要由矿物油（含量 50%～80%）、乳化剂、防锈剂、油性剂、极压抗磨添加剂和防腐剂等组成。因工作时的切削状况难以观察而使其使用量正逐年减少
		合成切削液	又称化学型切削液或无油（矿物油）切削液，是由水溶性防锈剂、油性剂、极压抗磨添加剂、表面活性剂和消泡剂等多种添加剂组成的透明状或半透明状稀释液。因其具有优良的冷却清洗性能和良好的可见性，而被广泛用于数控机床和加工中心等现代加工设备上；但此类切削液易将机床滑动部件上的润滑油洗刷掉从而造成滑动不灵活
		半合成切削液	又称微乳化切削液，是由少量矿物油（5%～30%）、油性剂、极压抗磨添加剂、防锈剂、表面活性剂和防腐剂等组成的透明状或半透明状稀释液（油滴直径 <1μm）；它不仅具有乳化液和合成切削液的优点还可弥补这两者的不足，是切削液发展的趋势

4.4.1 油基切削液冷却装置在 YKX3132M 型数控滚齿机上的应用

在重型汽车和工程机械等领域内进行直齿轮、螺旋齿轮（斜齿轮）和锥度齿轮及鼓形齿轮加工的 YKX3132M 型数控滚齿机，配置了油基切削液（因其具有良好的润滑性能而适用于低速重切削、拉削、螺纹和齿轮加工、轴承超精加工以及难加工材料的切削加工，同时仅需通过简单

的过滤环节分离掉切屑等固体杂质即可获得清洁的切削液）形式的独立冷却装置，以提高滚齿刀的使用寿命和及时冲洗机床上的切屑。该冷却装置主要由容积为 300L 的切削液箱和 2 台 AB－200 型的冷却泵（见图 4-133）、刀架喷嘴及管路管接头等组成，其中 1 台冷却泵通过管路将油基切削液输送至刀架喷嘴后供给滚齿刀和工件以保证切削区域的充分冷却和润滑，另 1 台冷却泵则通过管路将油基切削液输送至床身和工作台切削区域以保证将切屑冲入排屑装置中；其油基切削液既可采用 F－43 防锈切削油，也可采用硫化切削油并添加比例约为 30% 的轻柴油（冬季时比例适当提高）。该冷却装置既可在 JOG 方式下通过 MCP 上的［冷却启停］按钮 SB5 手动控制冷却泵及［冲洗启停］按钮 SB6 手动控制冲洗泵，也可在 AUTO 或 MDA 方式下使用辅助功能代码 M07、M08 和 M09 并按下 MCP 上的［循环启动］按键来分别实现冷却泵和冲洗泵的自动工作与停止。YKX3132M 型数控滚齿机冷却装置的控制电路和 PLC 程序（S7－200），分别如图 4-134 和图 4-135 所示。



电机功率/kW	0.45
额定电压/V	AC380
扬程/m	4
流量/(L/min)	200
压力/MPa	0.04
泵轴位置	边立式
原　　理	离心泵
叶轮吸入方式	单吸式

a)　　b)

图 4-133　AB－200 型冷却泵实物及技术参数
a）实物图　b）技术参数

（1）冷却装置的手动控制（见图 4-134、4-135）　以冷却泵为例介绍其控制过程。关好机床电控柜门并打开隔离开关 QS1（100A）和断路器 QF1（60A）→将三相 AC380V 电源引入机床→依次按下 MCP 上［NC 启动］按键 SB1 和［液压启动］按键 SB3→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T3 向 PLC 输入 I0.0＝1 信号→PLC 逻辑处理后 Q2.0 线圈通电保持并经 X222 插口的端子 T31 向外输出→将 MCP 上［方式选择］旋钮置于 JOG 方式→方式选择信号地址 I3.7、I4.0 和 I4.1 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行逻辑处理→对应于 JOG 运行方式的接口信号 V30000000.2 接通并由 PLC 传输至 NCK→NCK 应答后经接口信号 V31000000.2 向 PLC 回传 JOG 方式生效信号→按下［冷却启停］按钮 SB5→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T7 向 PLC 输入 I0.4＝1 信号→辅助逻辑线圈 M54.0 通电后经 M66.0 形成启动脉冲并经 M54.2 过渡使 M54.1 通电并保持→线圈 Q3.5 得电并经 X222 插口的端子 T44 向外输出→中间继电器 KA14 线圈（24V）得电常开触点闭合→接触器 KM6 线圈（AC 220V）通电主触点闭合→冷却泵电动机 M6 接通三相 AC 380V 电源而旋转并带动叶轮一同运转以抽取油基切削液→伴随着 Q3.5＝1→S7－200PLC 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T46 输出 Q1.7＝1 使得 MCP 上［冷却启停］按钮 SB5 的指示灯 HL17 点亮呈白色→再次按下［冷却启停］按钮 SB5→MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T7 向 PLC 输入 I0.4＝1 信号→经 M54.0、M66.0 和 M54.2 逻辑后处于通电保持状态的 M54.1 被断电→Q3.5 失电使 KA14 和 Q1.7 断电→AC 220V 停止向 KM6 线圈供电并使其处于闭合状态的常开主触点呈断开状态→冷却泵电动机 M6 停止旋转且按钮指示灯 HL17 熄灭。

（2）冷却装置的自动控制（见图 4-134、图 4-135）　以冲洗泵为例介绍其控制过程。待机床就绪后将 MCP 上［方式选择］旋钮置于 AUTO（MDA）方式→方式选择信号地址 I3.7、I4.0 和 I4.1 经 PP72/48 模块传输至 PLC 并进行逻辑处理→对应于 AUTO（MDA）运行方式的接口信号 V30000000.0（V30000000.1）接通并由 PLC 传输至 NCK→NCK 应答后经接口信号 V31000000.0（V31000000.1）向 PLC 回传 AUTO（MDA）方式生效信号（M61.0）→当循环条件满足（如防护门关闭、挂轮箱门关闭等）后操作者同时按下 MCP 上［循环启动］（其信号处理过程见第 2.2.2 节）和［双手操作］按键以执行 NC 加工程序→执行至含有 M08 的程序段时

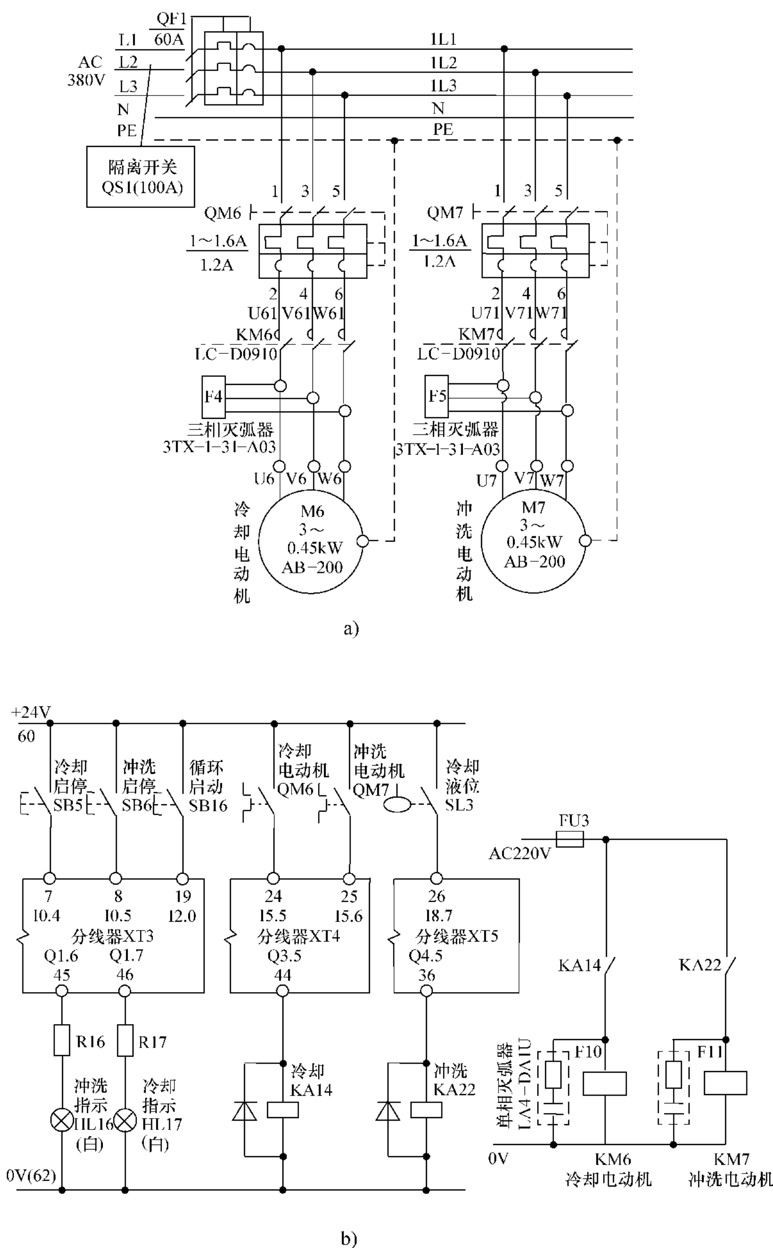


图 4-134 YKX3132M 型数控滚齿机冷却装置的控制电路

a）冷却装置电动机的主回路 b）冷却装置电动机的辅助控制回路

NCK 经由动态接口 V25001001.0 向 PLC 传送冲洗泵启动 M08 代码信号→辅助逻辑线圈 M54.7 通电并保持→线圈 Q4.5 得电并经 X333 插口的端子 T36 向外输出→中间继电器 KA22 线圈（24V）得电常开触点闭合→接触器 KM7 线圈（AC 220V）通电主触点闭合→冷却泵电动机 M7 接通三相 AC380V 电源而旋转并带动叶轮一同运转以抽取油基切削液→伴随着 Q4.5 = 1→S7 - 200PLC 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T45 输出 Q1.6 = 1 使得 MCP 上［冲洗启停］按钮 SB6 的指示灯 HL16 点亮呈白色→当 NC 程序执行至含有 M09 的程序段时，NCK 经由动态接口 V25001001.1 向 PLC 传送冷却冲洗泵停止 M09 代码信号→处于通电保持状态的 M54.7 被断电→Q4.5 失电使



图4-135 YKX3132M型数控滚齿机冷却装置的PLC程序（S7-200）

KA22和Q1.6断电→AC220V停止向KM7线圈供电并使其处于闭合状态的常开主触点呈断开状态→冲洗泵电动机M7停止旋转且按钮指示灯HL16熄灭。

（3）冷却装置异常状况的监控（见图4-134、图4-135） ①当冷却泵电动机M6因缺相运行、绕组匝间短路或长期过载运行而出现过电流时→电动机断路器QM6（GV2-M06C）将由接通状态跳转为断开状态→由PP72/48模块上X222插口的端子T24向PLC输入I5.5=0信号→V16000000.7接通并通过接口信号传递至HMI，在802Dsl系统的PCU面板上显示“700007：QM6冷却电动机过热报警”→伴随着V16000000.7=1→在S7-200PLC内经过M60.2和M60.0而接通Q0.2和Q4.7，并分别经由PP72/48模块上X111插口中端子T33和X333插口中端子T38向外输出→如此MCP上的［机床故障］指示灯HL4点亮呈红色，且机床三色指示灯的HL18呈闪烁红色报警状态。②700008：QM7冲洗电动机过热报警过程与700007报警类似。③当冷却装置的切削液箱内的液位因箱体泄漏或长时间消耗而低于液位开关SL3允许的高度时→由PP72/48模块上X333插口的端子T26向PLC输入I8.7=1信号→V16000004.1接通并通过接口信号传递至HMI，在802Dsl系统的PCU面板上显示“700033：SL3切削液位低报警”→后续为MCP［机

床故障］指示灯 HL4 和机床三色指示灯 HL18 的点亮控制。

（4）油基切削液在使用中出现的问题及处理方法　见表 4-53。

表 4-53　油基切削液在使用中出现的问题及处理方法

出现问题	主要原因	处理方法
切削油产品混浊	1）基础油与添加剂的互溶性差，基础油的精制程度过高或抗氧化性能太差	新基础油做小样试验，配出的产品透明方可使用
	2）基础油（矿物油或硫化矿物油）的水分含量超标	测定不透明基础油的水分含量，含微量水分的基础油调配时升温至 80～90℃并搅拌 1～2h，待水分挥发后降温至 60℃再加入添加剂调配。水分含量太多的基础油不能用于生产切削油
机床或加工件生锈	1）切削油中混入水分	前工序用水基切削液加工的工件应作脱水处理以避免水分随工件混入切削油中，混有微量水分时可加入 1%～2% 的 T702 防锈剂，水分含量大时需换新切削油
	2）含氯极压切削油的添加剂分解	更换为不含氯的极压切削油
机床加工精度下降	1）被加工工件冷却不充分或不均匀	调整或改进供液喷嘴以扩大供液范围，提高供液压力与流量
	2）切削油选型不合适	针对被加工的材料等特性选用合适的切削油
	3）切削油长时间未更换而性能失效	按设备自主保全要求定期更换切削油
铜铝合金零件变色	切削油中含有活性硫极压剂	改用非活性硫极压剂的切削油
操作者过敏皮肤炎	切削油的轻质组分过多、芳烃含量高导致皮肤过敏	选用芳烃含量低的切削油，低黏度基础油与一部分高黏度油混合调配后使用
		选用对皮肤刺激小的切削油，操作者戴防护手套等并避免长时间接触切削油
工件表面粗糙或有瑕疵烧伤	1）切削油的润滑性能差	更换为润滑性能好的切削油（油性和极压性均较好）
	2）切削油中混入细小切屑	改善过滤方法（如提高滤芯的过滤精度）以清除细小切屑
	3）切削油的冷却清洗性能差	加大切削油的压力和流量并根据需要改变注油方向
刀具寿命逐渐缩短	切削油泄漏使添加剂的浓度降低	补充新油或补充极压润滑添加剂
		采取措施防止漏油，如更换阀门或管接头的密封元件及破损、裂损的管道
过滤器或管道堵塞	1）切削油被 Fe、Cu、Pb 等金属或油中金属盐加剧氧化而产生胶状物	更换抗氧化性能好的切削油，并用机械方法及时清除切屑和沉渣
	2）易氧化添加剂促进油氧化产生胶状物	用合成脂替代动植物脂肪，尽量采用碘值低的添加剂
	3）过高温度促进油氧化产生胶状物	避光保存和使用切削油，切削液箱的容积尽量大些以降低切削油的温度

4.4.2　水基切削液冷却装置在 PF6－S2500 数控磨床上的应用

适用于重型汽车 ST16 冲压式驱动桥壳轴头（$\phi 91_{-0.094}^{-0.072}$mm 和 $\phi 110_{+0.003}^{+0.025}$mm 及 R12mm 圆弧）

外圆磨削加工的 PF6－S2500 数控磨床，配置了水基切削液（因其具有良好的冷却性能和切屑冲洗能力而多被用于磨削加工等高速湿式切削场合）形式的独立冷却装置，用以降低被磨削工件和 15°斜进切入式组合砂轮的磨削温度（磨削区产生的大量瞬时高温切削热量中有 80%～90% 传入工件、10%～15% 传入磨削砂轮、1%～10% 由磨屑带走）、防止工件烧伤和改善工件表面质量、提高工件与机床的防锈能力、及时冲刷磨削产生的磨屑。其冷却回路图，如图 4-136 所示。

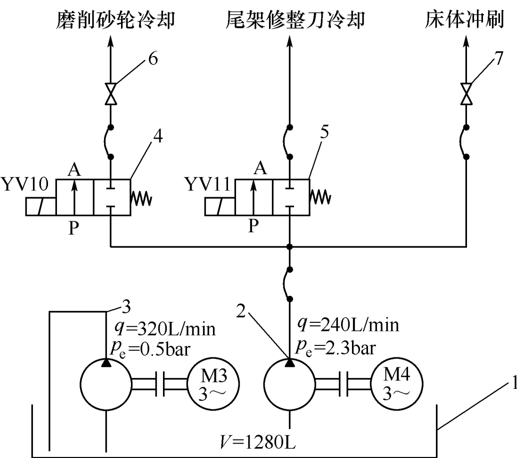


图 4-136　PF6－S2500 数控磨床的冷却回路图
1—切削液箱　2—冷却泵　3—过滤泵
4、5—二位二通型电磁换向阀　6、7—1/2 球阀

该冷却装置主要由容积为 1280L 的切削液箱、冷却泵、过滤泵、冷却喷嘴和管路管接头等组成。其中，冷却泵是将水基切削液通过管路、二位二通型电磁换向阀、1/2 球阀和冷却喷嘴输送至砂轮与工件的磨削区及修整刀与砂轮的修整区以保证切削区域的充分冷却和润滑，同时输送至机床头架、尾座和砂轮架的四周以保证磨屑冲入过滤装置中；过滤泵用于去除切削液中一定比例且相对较大的固体颗粒以净化切削液、提高磨削砂轮的使用寿命（研究表明切削液内碎屑和砂轮粉末等杂质自 40μm 降至 10μm 以下时砂轮的寿命可延长 1～3 倍）和保证工件磨削质量。该冷却装置既可在 JOG 方式下通过 MCP 上的［砂轮冷却］按键 S18 手动开启/关闭磨削区域的切削液以及［修整冷却］按键 S19 手动开启/关闭修整区域的切削液，也可在 AUTO 或 MDA 方式下使用辅助功能代码 M07、M08 和 M09/M02/M30 来分别实现修整区冷却和磨削区冷却的自动接通与停止。PF6－S2500 数控磨床冷却装置的控制电路和 PLC 程序（S7－300），分别如图 4-137 和图 4-138 所示。

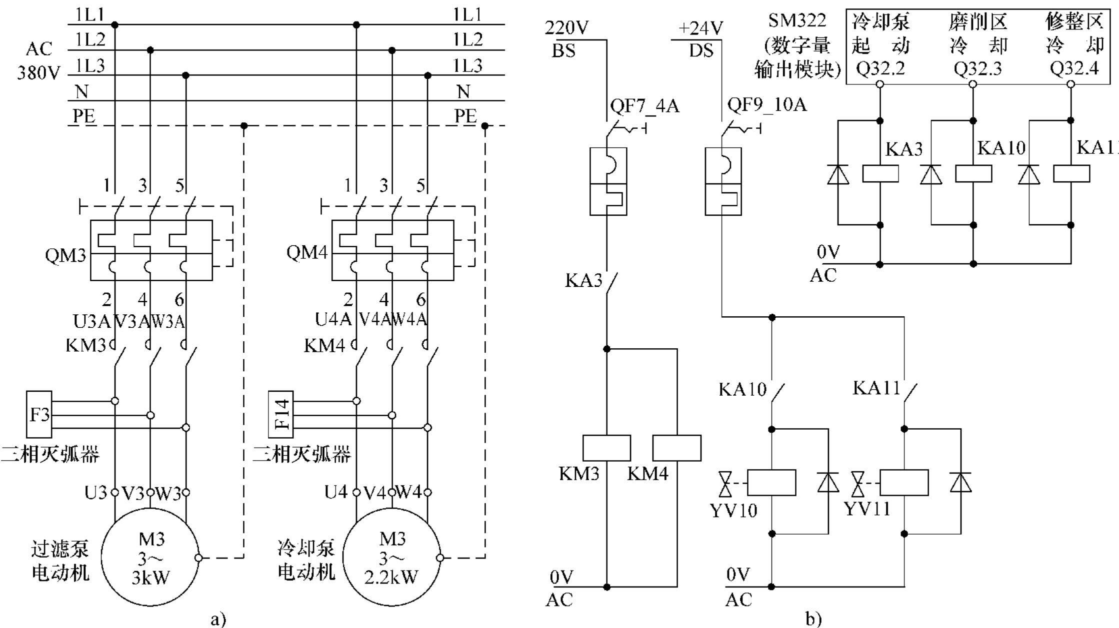


图 4-137　PF6－S2500 数控磨床冷却装置的控制电路
a）冷却装置的主回路　b）冷却装置辅助控制回路

```
PF6-S2500数控磨床/FC100 “机床面板 PLC-MA”
程序段 13： JOG方式时按下 MCP[砂轮冷却 ]按键后按键灯
           LED18点亮，再按下该键则灯LED18熄灭
   A     I        7.6          //串联[砂轮冷却 ]按键S18的常开触点
   FP    M      105.3          //串联 M105.3的上升沿 (0 跳转到 1)
   =     M      105.4          //M105.4(按键脉冲)线圈“通电”
   A(                          //逻辑与嵌套
   A     M      105.4          //串联 M105.4(按键脉冲)的常开触点
   AN    M      105.5          //串联 M105.5的常闭触点，待M105.5
                               //线圈通电后切断S18按键脉冲
   O                           //并联
   AN    M      105.4          //串联 M105.4的常闭触点，待再次按下S18
                               //键时切断 M105.5的自锁以关闭砂轮冷却
   A     M      105.5          //串联 M105.5常开触点，其线圈通电后自锁
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     DB11.DBX   6.2        //串联 JOG 操作方式有效信号的常开触点
   A     I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   AN    Q        5.5          //并联[修整冷却]按键灯 LED19的常闭触点
                               //使手动砂轮冷却与手动修整冷却互锁
   =     M      105.5          //M105.5线圈“通电”
   -     Q        5.6          //[砂轮冷却]按键指示灯LED18点亮

程序段 14： JOG方式时按下 MCP[ 修整冷却]按键后按键灯
           LED19点亮，再按下该键则灯LED19熄灭
   A     I        7.5          //串联[修整冷却]按键 S19的常开触点
   FP    M      106.3          //串联 M106.3的上升沿(0跳转到 1)
   =     M      106.4          //M106.4(按键脉冲)线圈“通电”
   A(                          //逻辑与嵌套
   A     M      106.4          //串联 M106.4(按键脉冲)的常开触点
   AN    M      106.5          //串联 M106.5的常闭触点，待M106.5
                               //线圈通电后切断 S19按键脉冲
   O                           //并联
   AN    M      106.4          //串联 M106.4的常闭触点，待再次按下S19
                               //时切断M106.5的自锁以关闭修整冷却
   A     M      106.5          //串联M106.5 常开触点，其线圈通电后自锁
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     DB11.DBX   6.2        //串联 JOG 操作方式有效信号的常开触点
   A     I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   AN    Q        5.6          //并联[砂轮冷却]按键灯 LED18 的常闭触点
                               //使手动砂轮冷却与手动修整冷却互锁
   -     M      106.5          //M106.5线圈“通电”
   -     Q        5.5          //[修整冷却]按键指示灯LED19 点亮

程序段 15： JOG方式按键手动或 AUTO/MDA 方式M08控制磨削区冷却接通
   A(                          //逻辑与嵌套1
   O(                          //并联1
   A     DB11.DBX   6.2        //串联 JOG 操作方式有效信号的常开触点
   A     Q        5.6          //串联[砂轮冷却]键灯LED18 的常开触点
   )                           //并联 1结束
   O(                          //并联 2
   A(                          //逻辑与嵌套2
   O     DB11.DBX   6.0        //串联 AUTO操作方式有效信号的常开触点
   O     DB11.DBX   6.1        //串联 MDA 操作方式有效信号的常开触点
   )                           //逻辑与嵌套 2结束
   A     M      202.1          //串联 M202.1(M08开启砂轮冷却)的常开触点

PF6-S2500数控磨床/FC100 “机床面板PLC-MA”
程序段 15： JOG方式按键手动或 AUTO/MDA 方式 M08控制磨削区冷却接通
   )                           //并联 2结束
   )                           //逻辑与嵌套 1结束
   A     I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   -     Q       32.3          //Q32.3-1时 KA10 线圈得电常开触点闭
                               //合， YV10 得电接通磨削区域的冷却

程序段 16： JOG方式按键手动或 AUTO/MDA 方式M07控制修整区冷却液接通
   A(                          //逻辑与嵌套1
   O(                          //并联 1
   A     DB11.DBX   6.2        //串联 JOG 操作方式有效信号的常开触点
   A     Q        5.5          //串联[修整冷却]键灯 LED19的常开触点
   )                           //并联 1结束
   O(                          //并联 2
   A(                          //逻辑与嵌套2
   O     DB11.DBX   6.0        //串联 AUTO 操作方式有效信号的常开触点
   O     DB11.DBX   6.1        //串联 MDA 操作方式有效信号的常开触点
   )                           //逻辑与嵌套 2结束
   A     M      202.0          //串联 M202.0(M07开启修整冷却)的常开触点
   )                           //并联 2结束
   )                           //逻辑与嵌套 1结束
   A     I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   =     Q       32.4          //Q32.4=1时KA11线圈得电常开触点闭
                               //合， YV11得电接通修整区域的冷却

程序段 17： 按键手动或 M代码开启磨削/修整区冷却时冷却泵和过滤泵工作
   A(                          //逻辑与嵌套
   O     Q       32.3          //并联 Q32.3(磨削区域冷却)的常开触点
   O     Q       32.4          //并联 Q32.4(修整区域冷却)的常开触点
   )                           //逻辑与嵌套结束
   A     I       32.3          //串联急停按钮(I32.3)的常开触点
   A     I       40.3          //串联电机空开过电流的常开触点
   -     Q       32.2          //Q32.2-1时KA3 线圈得电常开触点闭合，KM3 KM4
                               //线圈通电分别使过滤泵电动机和冷却泵电动机启动

PF6-S2500数控磨床/FC121 “辅助功能”
程序段 13： M07开启修整冷却， M08开启磨削冷却，
           M09/M02/M30及EMG 时关闭冷却装置
 // 定义 M07代码自动启动修整区域冷却
   A     DB21.DBX  194.7       //串联 M07代码信号的常开触点
   S     M      202.0          //M202.0(M07开启修整冷却)被置位为1状态
   R     M      202.2          //M202.2被复位为0状态
 // 定义 M08代码自动启动磨削区域冷却
   A     DB21.DBX  195.0       //串联 M08代码信号的常开触点
   S     M      202.1          //M202.1(M08开启磨削冷却)被置位为1状态
   R     M      202.2          //M202.2 被复位为0状态
 // 定义 M02、M30或M09代码自动停止冷却装置
   O     DB21.DBX  194.2       //并联 M02代码信号的常开触点
   O     DB21.DBX  197.6       //并联 M30代码信号的常开触点
   O     DB21.DBX  195.1       //并联 M09代码信号的常开触点
   ON    I       32.3          //并联急停按钮的常闭触点
   S     M      202.2          //M202.2(修整/磨削冷却关闭)被置位为1状态
   R     M      202.0          //M202.0(M07开启修整冷却被复位为 0状态
   R     M      202.1          //M202.1(M08开启磨削冷却被复位为 0状态
```

图 4-138　PF6－S2500 数控磨床冷却装置的 PLC 程序（S7－300）

（1）磨削区域切削液的手动开启与关闭（见图 4-137、4-138）　机床处于 JOG 方式时 NCK 经由接口 DB11. DBX6. 2 向 PLC 发送 JOG 方式激活信号→操作者按下 MCP 上［砂轮冷却］按键 S18 后 PLC 输入信号 I7. 6 接通→按键脉冲 M105. 4 使线圈 M105. 5 和 Q5. 6（Q5. 6 与 Q5. 5 互锁处理使磨削冷却和修整冷却不同时得电）通电保持→MCP 上［砂轮冷却］按键指示灯 LED18 点亮→急停按钮释放（I32. 3 = 1）的情况下线圈 Q32. 3 得电并经 SM322 数字量输出模块向外输出→中间继电器 KA10 线圈通电使其常开触点闭合→二位二通型电磁换向阀 4（图 4-136）的线圈 YV10 通电使阀口 P 与 A 接通→在电动机断路器 QM1 ~ QM7 未过电流的接通状态（I40. 3 = 1）下→常开触点处于闭合状态的 Q32. 3 控制线圈 Q32. 2 得电，并经 SM322 数字量输出模块向外输出→中间继电器 KA3 线圈（DC24V）得电使其常开触点闭合→接触器 KM3 和 KM4 的线圈（AC220V）通电使其主触点闭合→电动机 M3 和 M4 接通三相 AC380V 而旋转，并分别带动冷却泵和过滤泵一同运转→砂轮磨削区域的切削液接通→再次按下［砂轮冷却］按键 S18 时线圈

M105.4 通电其常闭触点断开→处于通电保持状态的 Q5.6 断电→［砂轮冷却］按键指示灯 LED18 熄灭→Q32.3 和 Q32.2 相继断电→二位二通型电磁换向阀 4 的阀口关闭及砂轮冷却泵电动机停转。

（2）M07 和 M09/M02/M30 代码分别控制修整区域切削液的自动开启与关闭（见图 4-137、图 4-138）　机床处于 AUTO（MDA）方式时 NCK 经由接口 DB11.DBX6.0（DB11.DBX6.1）向 PLC 发送 AUTO（MDA）方式激活信号→840D 系统执行至辅助功能代码 M07 时 NCK 经由动态接口 DB21.DBX194.7 向 PLC 发送 M 代码激活信号→PLC 读取该信号后将线圈 M202.0 置位为 1 状态（得电）并保持→同时利用复位指令 R 将线圈 M202.2 复位为 0 状态并保持→线圈 Q32.4 得电并经 SM322 数字量输出模块向外输出→中间继电器 KA11 线圈通电使其常开触点闭合→二位二通型电磁换向阀 5（图 4-136）的线圈 YV11 通电使阀口 P 与 A 接通→在电动机断路器 QM1～QM7 未过电流的接通状态（I40.3=1）下→常开触点处于闭合状态的 Q32.4 控制线圈 Q32.2 得电，并经 SM322 数字量输出模块向外输出→中间继电器 KA3 线圈（DC24V）得电使其常开触点闭合→接触器 KM3 和 KM4 的线圈（AC220V）通电使其主触点闭合→电动机 M3 和 M4 接通三相 AC380V 而旋转，并分别带动冷却泵和过滤泵一同运转→机床修整区域的切削液接通→当系统执行至 M09/M02/M30 代码时→PLC 便通过动态接口信号 DB21.DBX195.1（DB21.DBX194.2，DB21.DBX197.6）将线圈 M202.2 置位为 1 状态并保持，线圈 M202.0 复位为 0 状态→处于通电状态的 Q32.4 和 Q32.2 相继断电→二位二通型电磁换向阀 5 的阀口关闭及砂轮冷却泵电动机停转。

（3）水基切削液在使用中出现的问题及处理方法　见表 4-54。

表 4-54　水基切削液在使用中出现的问题及处理方法

序号	出现问题	主要原因	处理方法
1	乳化油产品分层	乳化油的平衡未调好，乳化油体系的亲油亲水平衡值（即 HLB 值）偏大	补充 1%～2% 的 HLB 值为 4～5 的表面活性剂
2	用水稀释后的乳化油有浮油	乳化油的平衡未调好，乳化油体系的亲油亲水平衡值（即 HLB 值）偏小	加入一定量的 HLB 值 >13 的表面活性剂，使乳化油体系平衡为止（不分层）
3	合成切削液混浊、出现分层	1）所用无机盐质量有问题，因放置时间过长被风化而使其水溶性差	严格控制所用无机盐的质量，确保有效期内使用原材料，杜绝使用过期的原材料
		2）所用色粉的质量不好	购买质量好的色粉
		3）添加剂反应不完全	严格按生产工艺规定条件进行生产，控制好合成添加剂的反应温度、搅拌速度和搅拌时间
4	机床或加工件生锈	1）切削液浓度太低（俗称“太稀”），使用过程中只加水而不添加原液	采用分相滴定法或糖度计测定法等方法定期检测切削液的浓度，及时添加新液，使其保持在标准要求的 ±20% 范围内
		2）PH 值降低（生锈的直接原因之一）	采用 PH 计测定法或试纸测定法定期检测切削液的 PH 值，及时添加碱或二乙醇胺等，保持 PH 值在 8.5 以上
		3）切削液腐败变质（细菌产生的酸引起 PH 值下降），周末或节假日时静止状态的切削液腐败变质更严重	见“切削液腐败而变色、发臭”的处理方法

（续）

序号	出现问题	主要原因	处理方法
5	机床加工精度下降	1）被加工件冷却不充分或不均匀	调整或改进供液喷嘴以扩大供液范围，提高供液压力与流量
		2）切削液选型不合适（选择原则大致有：能延长刀具使用寿命、可改善工件表面光洁度、易清除切屑以及具有润滑性和抑制腐蚀的能力）	一般磨削加工选用质量分数为 3% ~5% 的乳化液
			精磨削加工时选用精制合成型切削液（H－1 精磨液）或质量分数为 5% ~10% 的乳化液
			超精磨削加工时选用质量分数为 98% 的煤油和 2% 的石油磺酸钡混合液或者含氯极压切削油及特殊配方的离子型切削液（Ra 达 0.08μm）等
			磨齿、磨螺纹等切削均匀的精磨加工或成形磨削时选用低黏度矿物油（运动黏度 $<7mm^2/s$）或极压切削油，并添加抗氧化安定性添加剂和少许香精以消除油雾散发出来的难闻气味
		3）切削液长时间未更换而性能失效	按要求定期更换切削液，通常 6 ~12 个月换 1 次
6	铜铝合金零件变色	水基切削液 PH 值过高产生氢氧化铜（铜绿）和氢氧化铝（铝表面白斑）	选用低 PH 值的水基切削液或加入有效的铜、铝腐蚀抑制剂，如苯并三氮唑和汽巴 42 等
7	水基切削液泡沫过多消泡慢	1）切削液压力、流量太大使泡沫过多	选用消泡性能好的切削液
		2）消泡剂的稳定性差，失效时间快	选用质量好、贮存期长的消泡剂
		3）切削液腐败变质	见“切削液腐败而变色、发臭”的处理方法
		4）铝镁合金加工时产生氢气	更换适合铝镁合金加工的切削液
8	切削液腐败而变色、发臭	1）停机时间过长，引起微生物（细菌和真菌）大量繁殖而腐败发臭变黑	停机期间最好能每天都开机，搅拌 1 ~2h 使切削液循环流动或在节假日停机前加入杀菌剂
		2）润滑油或上工序零件带入切削油使水基切削液乳化而遭受细菌侵蚀等	尽量减少设备漏油，及时清除浮在切削液表面的油层；添加新液时先彻底清除冷却装置内的切屑和异物并用杀菌剂充分消毒；稀释水使用自来水或软水，避免使用含盐过多的硬水；定期检测 PH 值，PH 值下降时及时补充新液或 PH 值提高剂以保持 PH 值在 9 左右；定期检测使用浓度和微生物的繁殖情况，当细菌超过 105 个/ml 时应添加杀菌剂
9	机床油漆变色剥落	切削液的碱与表面活性剂对机床油漆具有一定的侵蚀作用	过氧乙烯漆和氨基漆等油漆对切削液的适应性较强，而硝基漆较差，故硝基漆机床可选用乳化液作为切削液
10	操作者过敏皮肤炎	水基切削液中的碱和表面活性剂对人的皮肤有脱脂作用，某些组分对部分人有过敏作用以致诱发皮肤炎	选择对皮肤刺激小的切削液，操作者采取戴防护手套等防护措施，避免长时间接触切削液

（续）

序号	出现问题	主 要 原 因	处 理 方 法
11	刀具寿命逐渐缩短	仅补充水而降低水基切削液的浓度（即倍率上升）	补充原液，修整浓度；采用分相滴定法或糖度计测定法等方法定期检测切削液的浓度
12	磨削时砂轮气孔被堵塞	磨削液的渗透和清洗性能差使砂轮气孔被磨屑堵塞以及润滑性不足使砂粒切刃被磨平	换为渗透性和清洗性好的水基磨削液，改善工件磨削和砂轮修整的工艺参数，更换修整刀
13	树脂砂轮寿命短	磨削液的碱性作用使粘合剂溶解	使用碱性较弱的水基磨削液（PH≤8.5）
14	被磨削工件的表面质量不良	1）磨切液的冷却性差使工件热膨胀	增大供液压力和流量，降低磨削液的温度
		2）磨削液的清洗和自锐性能差使砂轮气孔被堵塞，磨出的工件呈椭圆状	改善磨削液的质量和自锐性能
15	工件在工序间生锈	1）已加工完的工件在工序间停滞时间过长而生锈	合理控制工序在产量，按先进先出原则使用工件，长时间滞留工件的已加工表面涂抹防锈油
		2）夜间温差大使空气中水分凝结或梅雨季节时空气湿度大，使工件生锈	改用不含氯极压剂的防锈切削液
16	切削液使用中变紫红色	刀具或工件含有钴元素	使用具有防钴析出功能的切削液
17	切削液析出大量悬浮不溶物	稀释水的硬度过高	用水稀释乳化油时先加入一定的抗硬水剂 EDTA 或碳酸钠
18	过滤器或管道堵塞	水基切削液腐败变质，大量细菌和霉菌繁殖而生成渣滓或油泥状黏稠物	添加杀菌防霉剂，定期检测切削液的浓度和细菌、霉菌数，用机械方法清除系统中沉积物

4.5　排屑装置及故障

为保证高效、自动、顺利地进行数控加工和减少数控机床的发热变形，常需配置单机（或单条生产线）排屑装置或车间集中排屑系统，以将各种金属切屑或非金属废屑迅速有效地排出机床加工区，并自动分离和收集切削液与切屑/废屑。一般情况下，排屑装置应尽可能地靠近刀具切削区域安装，如数控车床的排屑装置应装在回转工件的下方，数控铣床和加工中心的排屑装置应装在床身的回水槽上或工作台的边侧位置。目前，排屑装置的工作可靠性和自动化程度正随着数控机床制造技术的不断发展而逐步提高，并趋向于标准化和系列化。根据排屑装置的结构和工作形式，可将其分为刮板式排屑装置、链板式排屑装置、磁性排屑装置、螺旋式排屑装置和车间集中排屑系统等。

4.5.1 刮板式排屑装置及故障

（1）简介　刮板式排屑装置（见图4-139）的传动原理与链板式排屑装置基本相同，只是前者为刮板链板、后者为平板链板。刮板式排屑装置的主体材料采用一定厚度的钢板（如A3冷板）焊接并整体连接组合而成，采用缝隙板过滤并装有自清洗毛刷；输送刮板采用一定厚度不吸磁的1Cr18不锈钢板与进口聚氨酯胶条连接组成，刮板两边装有双向滚轮连接链条并通过不锈钢自锁螺栓与刮板连接，刮屑板的高度与分布间距可随机设计；还可根据实际加工的需要和机床的配置情况，增加钢网反冲、刮屑器、涡流分离器和油水分离器等形成综合过滤系统来提高工件表面加工质量和节约切削液。因其具有选择范围较宽的输送速度和多样化的有效排屑宽度以及传动平稳、结构紧凑和工作效率高（与机床同步或单独工作）等特点，刮板式排屑装置被广泛用于数控机床、加工中心和自动生产线中以连续输送各种材料的短小切屑，尤其是处理磨削加工中的金属砂粒和磨粒以及铜、铝或铸铁材料等碎屑效果比较好。



a)　　b)

图4-139　刮板式排屑装置

a）样式一　b）样式二

（2）刮板式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法　见表4-55。

表4-55　刮板式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可能原因	处理方法
1	刮板链断	1）链条材质和制造质量不符合要求	更换合格的同规格链条
		2）链条过度磨损或超过疲劳极限	及时更换同规格的链条
		3）链环被切削液腐蚀产生锈痕或裂缝，链环端面减小而强度降低	及时更换被腐蚀的链环并彻底清理排屑箱内积存的切削液，更换腐蚀性小的切削液
		4）相互缠绕的大量带状铁屑卡滞输送刮板时，强行输送而拉断链条	清理卡滞的带状铁屑，更换链条，调整切削用量等，避免出现直带状切屑和缠绕形切屑
2	刮板链部分跑出槽外，严重时全部跑出槽外	1）输送刮板的两端磨损超限使其长度变短，稍有歪斜就可能出槽	及时更换磨损超限的输送刮板
		2）输送刮板与链条的连接螺栓脱落	重新紧固两者的连接螺栓
		3）溜槽槽帮严重磨损，不能挡住刮板	及时更换磨损超限的溜槽

（续）

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
3	刮板链跳链或掉链	1）链轮磨损严重使刮板链脱出轮齿	更换同规格的链轮
		2）两条刮板链的松紧程度不一致	调整刮板链的长度使其松紧一致
		3）输送刮板严重歪斜	校正输送刮板的位置
		4）输送刮板太稀少或过度弯曲	增加刮板的数量，校正或更换变形的刮板
4	减速器声音不正常	1）齿轮啮合不好	重新调整减速器，使齿轮啮合良好
		2）轴承/齿轮磨损或损坏	更换同规格的轴承/齿轮，适当预紧轴承，使齿轮啮合良好
		3）减速器的润滑油内含有金属杂物	排净减速器内的润滑油并更换新油液
		4）轴承窜动量大	调整轴承的轴向间隙
5	减速器漏油	1）密封圈损坏	更换新密封圈并在结合面处涂抹密封胶
		2）减速箱体结合面不严，轴承盖紧固螺栓松动	按规定转矩重新紧固连接螺栓
6	减速电动机无动作	1）PLC 内部逻辑条件不满足或输出线圈烧毁，造成中间继电器没有动作	据梯形图或语句表查找 PLC 内部逻辑并排除
			用 PLC 软件和硬件更改梯形图或语句表
		2）PLC 已输出信号但继电器未动作	查找断线故障，更换中间继电器
		3）中间继电器已得电但接触器未动作	查找断线故障，更换减速电动机的接触器
		4）接触器已动作但电动机无旋转动作	用万用表检测电动机接线端子上的动力电源电压是否符合要求，无电压则查找电源电压故障与断线故障；有电压则电动机烧毁，应更换电动机

4.5.2　链板式排屑装置及故障

（1）简介　链板式排屑装置（见图 4-140）利用滚动链轮牵引钢制平板链带在封闭箱内运转，加工产生的卷状、团状、条状或块状切屑以及磁性排屑装置不能解决的铜屑、铝屑或不锈钢屑等落至链带上并被提升后，与切削液分离而落入集屑车或收集箱内从而完成排屑。链板式排屑装置的封闭箱体多与切削液箱合为一体，以简化机床的结构；平板链板的材质为不锈钢或优质碳钢，其表面被加工成凸点以防止细碎切屑的黏附；链条节距主要有 31.75mm、50.8mm、63.5mm 和 101.6mm 等规格。因其具有特殊结构和链板宽度多元化等优点，链板式排屑装置更适合于恶劣工况下各种碎屑、团屑和卷屑的输送，如钢管车丝机产生的长条大卷状切屑和钢铁行业碎边（料）的快速输送（运行速度 10m/min）等，特别适用于含有切削液切屑的输送；它被广泛应用于各类数控机床、加工中心和柔性生产线等自动化程度较高的机床上。

（2）链板式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-56。



图 4-140　链板式排屑装置

表 4-56　链板式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可能原因	处理方法
1	排屑链板发生断裂	排屑链板过载但减速电动机仍正常运转而引发故障	放松机械式过载保护器使其正常工作（过载时可打滑），以避免拉断排屑链板
			加装电子过载保护器，设定一正常范围内电流 I_0，当实际电流 $I>I_0$ 时断开保护器，以避免拉断排屑链板
2	铁屑经常卡滞不能正常排出	加工产生的螺旋状铁屑太长（有时达到 3～5m/根），互相缠绕，越积越多造成卡滞，影响排屑装置的正常运行	凡是链板经过的有角度的地方一定要做成圆弧状，不可有生硬的角度，以利于铁屑排出
			排屑口下部加装挡屑板，防止铁屑卷入链板的下方而造成卡滞
			调整切削用量等，避免出现长的螺旋状铁屑
3	减速电动机烧毁（电动机长时间过热运行引起）	1）铁屑严重卡滞而减速电动机仍正常运转，并且链条不断裂	见“铁屑经常卡滞不能正常排出”的处理方法
		2）减速电动机的功率与排屑机不匹配	重新计算并选用功率合适的减速电动机
		3）减速机轴承/齿轮损坏致无法运转	更换损坏的轴承/齿轮
		4）电动机的电源电压过高或三相不平衡	用万用表测量电压并排除线路故障
		5）减速电动机长期过载运行使绕组的绝缘老化失去作用而短路，或绕组受潮	加装电子过载保护器，设定一正常范围内电流 I_0，当实际电流 $I>I_0$ 时断开保护器
4	减速器声音不正常	1）齿轮啮合不好	重新调整减速器，使齿轮啮合良好
		2）轴承/齿轮磨损或损坏	更换同规格的轴承/齿轮，适当预紧轴承，使齿轮啮合良好
		3）减速器的润滑油内含有金属杂物	排净减速器内的润滑油并更换新油液
		4）轴承窜动量大	调整轴承的轴向间隙

（续）

序号	常见故障	可能原因	处理方法
5	减速器漏油	1）密封圈损坏	更换新密封圈并在结合面处涂抹密封胶
		2）减速箱体结合面不严，轴承盖紧固螺栓松动	按规定转矩重新紧固连接螺栓
6	链轮齿磨损、断裂	1）链条太紧	调整链条使其松紧程度合适
		2）链轮材料不好	使用硬度高的材料并表面硬化
7	减速电动机无动作	1）PLC内部逻辑条件不满足或输出线圈烧毁，造成中间继电器没有动作	据梯形图或语句表查找PLC内部逻辑并排除
			用PLC软件和硬件更改梯形图或语句表
		2）已输出信号但继电器未动作	查找断线故障，更换中间继电器
		3）中间继电器已得电但接触器未动作	查找断线故障，更换减速电动机的接触器
		4）接触器已动作但电动机无旋转动作	用万用表检测电动机接线端子上的动力电源电压是否符合要求，无电压则查找电源电压故障与断线故障；有电压则电动机烧毁，应更换电动机

4.5.3　磁性排屑装置及故障

（1）简介　磁性排屑装置可分为磁性板式排屑装置和磁性辊式排屑装置两大类。其中，磁性板式排屑装置（见图4-141）是利用永磁材料强磁场的磁力来吸引铁磁材料的切屑（长度不超过100mm的钢屑），并在不锈钢板上滑动而进行收集和输送切屑的一种定量排屑形式（切屑吸附力为定值）的排屑装置，它是水基切削液冷却装置和油基切削液冷却装置中分离铁磁材料切屑的重要排屑装置，特别适合处理铸铁碎屑/铁屑和齿轮机床落屑。磁性辊式排屑机（见图4-142）是利用磁辊的转动将切屑逐级在每个磁辊间传递而进行输送切屑的一种排屑装置，主要用于湿式加工中粉状切屑的输送，特别适宜含有较多油污状态下的排屑。



图4-141　磁性板式排屑装置

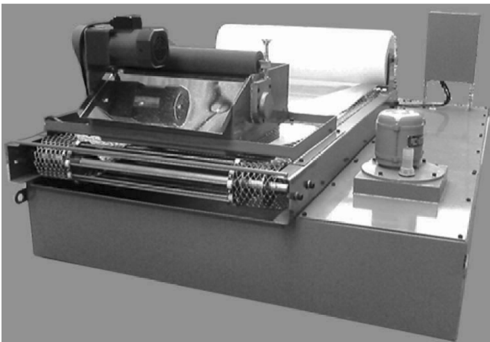


图4-142　磁性辊式排屑机

（2）磁性板式排屑装置在YKX3132M型数控滚齿机上的应用（见图4-143）：关好本机床的电控柜门并打开隔离开关QS1（100A）和断路器QF1（60A）→将三相AC380V电源引入机床→依次按下MCP上［NC启动］按键SB1和［液压启动］按键SB3→MCP通过PP72/48模块上X111插口的端子T3向PLC输入I0.0=1信号→PLC逻辑处理后Q2.0线圈通电保持并经X222插

口的端子 T31 向外输出→中间继电器 KA1 线圈（24V）得电，常开触点闭合→接触器 KM5 线圈（AC220V）通电主触点闭合→排屑电动机 M5 接通三相 AC380V 电源而旋转并经链传动使排屑装置工作（PLC 控制程序见图 4-19）→当按下［液压停止］按键 SB4（接常闭触点）时，MCP 通过 PP72/48 模块上 X111 插口的端子 T4 向 PLC 输入 I0.1 = 0 信号，使得处于通电状态的线圈 Q2.0 = 0→KA1 线圈断电使其处于闭合状态的常开触点呈断开状态→AC220V 停止向 KM5 线圈供电使其处于闭合状态的常开主触点呈断开状态→电动机 M5 停止旋转。

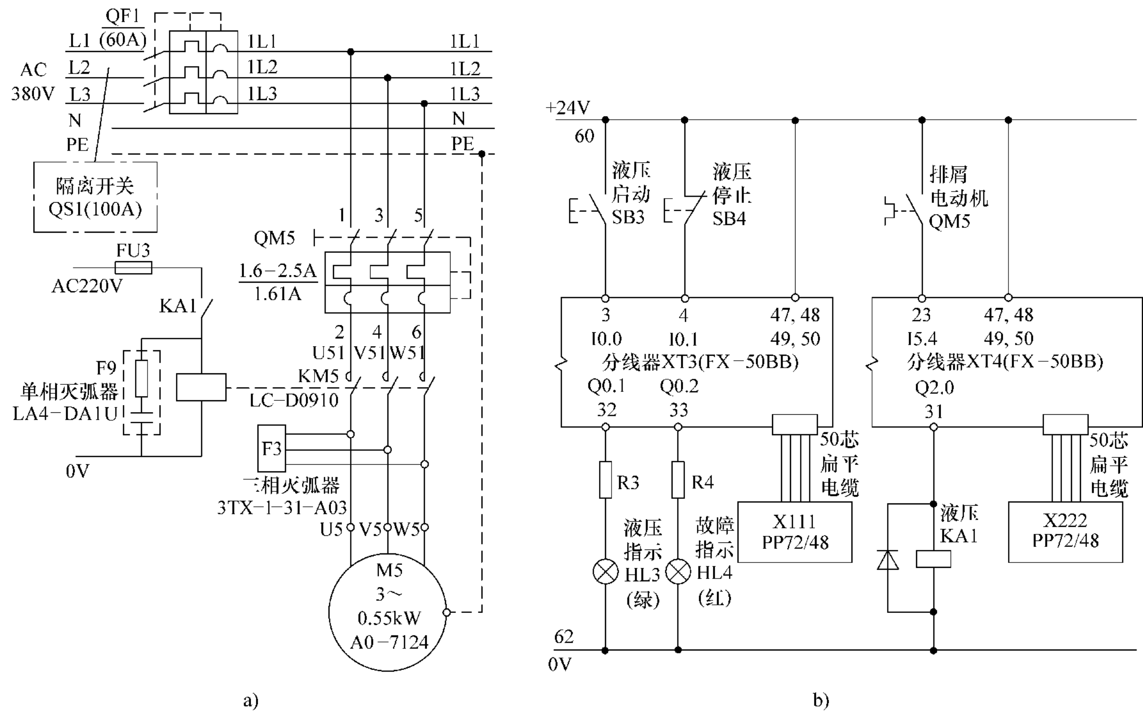


图 4-143　YKX3132M 型数控滚齿机磁性板式排屑装置的控制电路

a）排屑电动机的主回路　b）排屑电动机的辅助控制回路

（3）磁性排屑装置常见故障的可能原因及处理方法　见表 4-57。

表 4-57　磁性排屑装置常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
1	传动链条掉链、断裂或脱开	1）链条太紧	调整链条使其松紧程度合适
		2）链条偏磨或传送轴弯曲使链轮偏摆	校正弯曲的传动轴，使链轮转动时不超过允许的摆动量；更换过度磨损的链轮
		3）链条严重磨损后继续使用	及时更换、润滑传动链条，并定期检查
2	链轮齿磨损、断裂	1）链条太紧	调整链条使其松紧程度合适
		2）链轮材料不好	使用硬度高的材料并表面硬化
3	减速器声音不正常	1）齿轮啮合不好	重新调整减速器，使齿轮啮合良好
		2）轴承/齿轮磨损或损坏	更换同规格的轴承/齿轮，适当预紧轴承
		3）减速器的润滑油内含有金属杂物	排净减速器内的润滑油并更换新油液
		4）轴承窜动量大	调整轴承的轴向间隙

（续）

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
4	减速器漏油	1）密封圈损坏	更换新密封圈并在结合面处涂抹密封胶
		2）减速箱体结合面不严，轴承盖紧固螺栓松动	按规定转矩重新紧固连接螺栓
5	板式排屑装置排屑不顺畅	切屑量较大、排屑面板上粘油或非吸磁性物品在面板上堆积	重新选择切屑吸附力大的排屑装置
			及时清理黏附的油污与堆积的非吸磁性物品
6	板式排屑装置磁块条被刮掉	外界重物因意外原因撞击面板导致排屑装置严重损伤	修复损伤部位，更换损坏零部件，损坏严重时整体更换磁性板式排屑装置
7	切屑通过速度降低	排屑装置被设计为间歇运转	修改梯形图或语句表等使其成为连续运转
		变更切削液（如水基切削液变为油基切削液）使黏度变大而造成排屑装置的分离能力不足	换用更大流量或吸附力更强的磁性排屑装置
8	辊式排屑装置分离精度下降	1）切屑形状和材质发生变更	调整工艺参数使加工产生的切屑符合辊式排屑装置的要求，切屑材质不适合时应更换排屑装置或移至其他机床上进行加工
		2）加工材料的变更导致切屑量增大	提高排屑速度或换用大流量的磁性排屑装置
		3）变更切削液（如水基切削液变为油基切削液）使黏度变大而造成排屑装置的分离能力不足	换用更大流量或吸附力更强的磁性排屑装置
		4）入口污水直接冲击磁辊	改变污水入口的位置，避免直接冲击磁辊
		5）磁辊与胶辊间间隙过大	调整蝶形螺母，通过压缩弹簧使胶辊靠近磁辊
9	排屑电动机无动作	1）PLC 内部逻辑条件不满足或输出线圈烧毁，造成中间继电器没有动作	据梯形图或语句表查找 PLC 内部逻辑并排除
			用 PLC 软件和硬件更改梯形图或语句表
		2）PLC 已输出信号但继电器未动作	查找断线故障，更换中间继电器
		3）中间继电器已得电但接触器未动作	查找断线故障，更换减速电动机的接触器
		4）接触器已动作但电动机无旋转动作	用万用表检测电动机接线端子上的动力电源电压是否符合要求，无电压则查找电源电压故障与断线故障；有电压则电动机烧毁，应更换电动机

4.5.4　螺旋式排屑装置及故障

（1）简介　螺旋式排屑装置（见图 4-144）是利用电动机经减速装置驱动安装在沟槽中的一根带有螺旋叶片的旋转轴，来推动金属或非金属材料的粉末状、颗粒状切屑连续向前/向后运动

而最终排入集屑车或收集箱内的一种排屑装置；其螺旋杆主要有扁形钢条卷成螺旋弹簧状和轴上焊接旋转形钢板两种形式。因其具有结构紧凑、占用空间小、传动环节少和故障率极低等优点，螺旋式排屑装置适宜沿水平或小角度倾斜直线方向输送切屑，尤其适合排屑空间狭小（如机床与立柱间）和其他排屑装置不宜安装的场合。

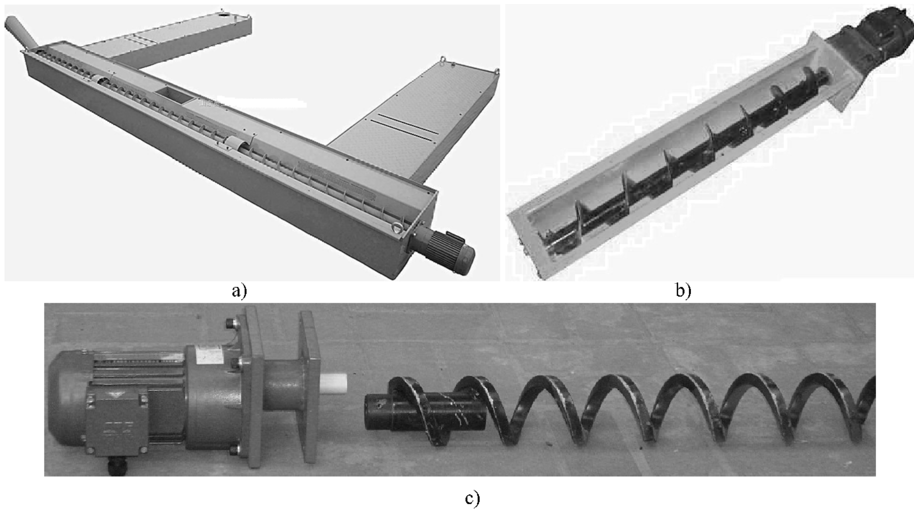


图 4-144 螺旋式排屑装置及其螺旋杆

a）螺旋式排屑装置 b）旋转形钢板焊接式螺旋杆 c）扁形钢条式螺旋杆

（2）螺旋式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法 见表 4-58。

表 4-58 螺旋式排屑装置常见故障的可能原因及处理方法

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
1	减速器声音不正常	1）齿轮啮合不好	重新调整减速器，使齿轮啮合良好
		2）轴承/齿轮磨损或损坏	更换同规格的轴承/齿轮，适当预紧轴承
		3）减速器的润滑油内含有金属杂物	排净减速器内的润滑油并更换新油液
		4）轴承窜动量大	调整轴承的轴向间隙
2	减速器漏油	1）密封圈损坏	更换新密封圈并在结合面处涂抹密封胶
		2）减速箱体结合面不严，轴承盖紧固螺栓松动	按规定转矩重新紧固连接螺栓
3	排屑电动机无动作	1）PLC 内部逻辑条件不满足或输出线圈烧毁，造成中间继电器没有动作	据梯形图或语句表查找 PLC 内部逻辑并排除
			用 PLC 软件和硬件更改梯形图或语句表
		2）PLC 已输出信号但继电器未动作	查找断线故障，更换中间继电器
		3）中间继电器已得电但接触器未动作	查找断线故障，更换减速电动机的接触器
		4）接触器已动作但电动机无旋转动作	用万用表检测电动机的接线端子上的动力电源电压是否符合要求，无电压则查找电源电压故障与断线故障；有电压则电动机烧毁，应更换电动机

（续）

序号	常见故障	可能原因	处理方法
4	螺旋杆的联接螺栓松动、跌落或断裂	排屑装置运行时间歇受力不均匀引起联接螺栓松动、跌落或断裂	采用花键联接或法兰盘式螺栓联接
			提高联接螺栓的强度，主要涉及螺纹牙的载荷分布、应力变化幅度、应力集中、附加应力和材料的机械性能等方面
5	螺旋叶片变形或卡阻而撕裂	因螺旋状铁屑太长并缠绕呈球状，使扁形钢条式螺旋杆弯曲变形严重，或使旋转形钢板焊接式螺旋杆上的螺旋叶片自焊接处脱焊、撕裂	校正扁形钢条式螺旋杆，调整工艺参数避免出现长螺旋状铁屑，一旦出现可用铁钩钩出
			脱焊的螺旋叶片经简单修理后可再次焊接在螺旋杆上，应保证焊缝密实可靠、避免夹渣或气孔等缺陷；损坏严重时需整体更换螺旋杆
6	空心旋转轴出现裂纹、裂缝	空心旋转轴长期运行磨损后抗扭强度降低而出现裂纹、裂缝，甚至断裂	调整工艺参数避免出现长螺旋状铁屑，一旦出现可用铁钩钩出；避免异物进入排屑装置
			定期查螺旋叶片的磨损和旋转轴的变形情况
7	旋转轴的输入轴发生断裂	因安装时同轴度超差或设计时输入轴的安全系数偏低，造成输入轴断裂	根据最小轴径估算公式 $d_{min}=A_0\sqrt[3]{P\eta/n}$（式中，$A_0$ 是剪切截面积，单位为 mm^2；P 是轴传递功率，单位为 kW；η 是效率；n 是轴转速，单位为 r/min），重新计算并选择轴的直径

4.5.5　车间集中排屑系统及实例应用

（1）简介　前述的各种排屑装置一般只是针对单台数控机床或 1 条生产线/柔性线的切屑输送，对于整个生产车间的切屑汇集和处理最终仍需人工来处理——将集屑车的切屑送至切屑箱→定期用天车将切屑箱吊至汽车上运往切屑收集站。此种方法不仅工作量较大、浪费人力，还易与车间生产发生冲突（即占用生产用天车）；不仅影响车间物流（切屑存放区占用车间的有效使用面积），还给管理带来一定的困难。为此，车间集中排屑系统伴随着现代生产节奏的加快和数控机床加工效率的大幅提高应运而生。车间集中排屑系统指的是在一个高效快节奏的密集化生产车间内，设置 1～2 套布置于地沟内的主排屑装置，其上盖钢板以便随时打开进行检修，各台数控机床和生产线/柔性线的下方另装次排屑装置（机床的出屑口靠近主排屑装置时可将切屑直接排入地沟内）；排屑时切屑先由机床自带的板式排屑装置、链式排屑装置或磁性排屑装置输送至次排屑装置（如螺旋式排屑装置或自制推杆式排屑器），然后经由次排屑装置运至主排屑沟内，再由主排屑装置将其运至切屑打包室内，进行断屑、离心甩干和打包压块后，运至铸造车间而回炉再利用。如此，整个排屑过程实现自动化清运和处理，既节省了切屑清理时间和降低了工人劳动强度，又保证了生产车间内部的美观、干净和整洁。

（2）车间集中排屑装置的应用实例（见图 4-145）　某生产车间日产切屑 20t，其中钢屑占 1/3、铸铁屑占 2/3。根据此车间的工艺布局，钢屑和铸铁屑分开处理，相应设备也分开布置；主、次排屑沟内的排屑装置选用自制推杆式排屑器（剖面图见图 4-146）。钢屑排屑区对应的小件加工工段内，集中布置有多台小型数控车床和车削中心、数控磨床等设备；铸铁屑排屑区对应的基础件加工工段和中、大件加工工段内，集中布置有多台大型龙门加工中心和龙门加工柔性线、落地镗铣加工中心等设备，以用于机床床身、立柱和横梁等配件的加工。此集中排屑装置运行时，切屑经由各次排屑沟和主排屑沟后，汇集至车间外的切屑打包室（剖面图见图 4-147）进

行打包压块，再通过悬挂式起重机将其吊至汽车上运出。

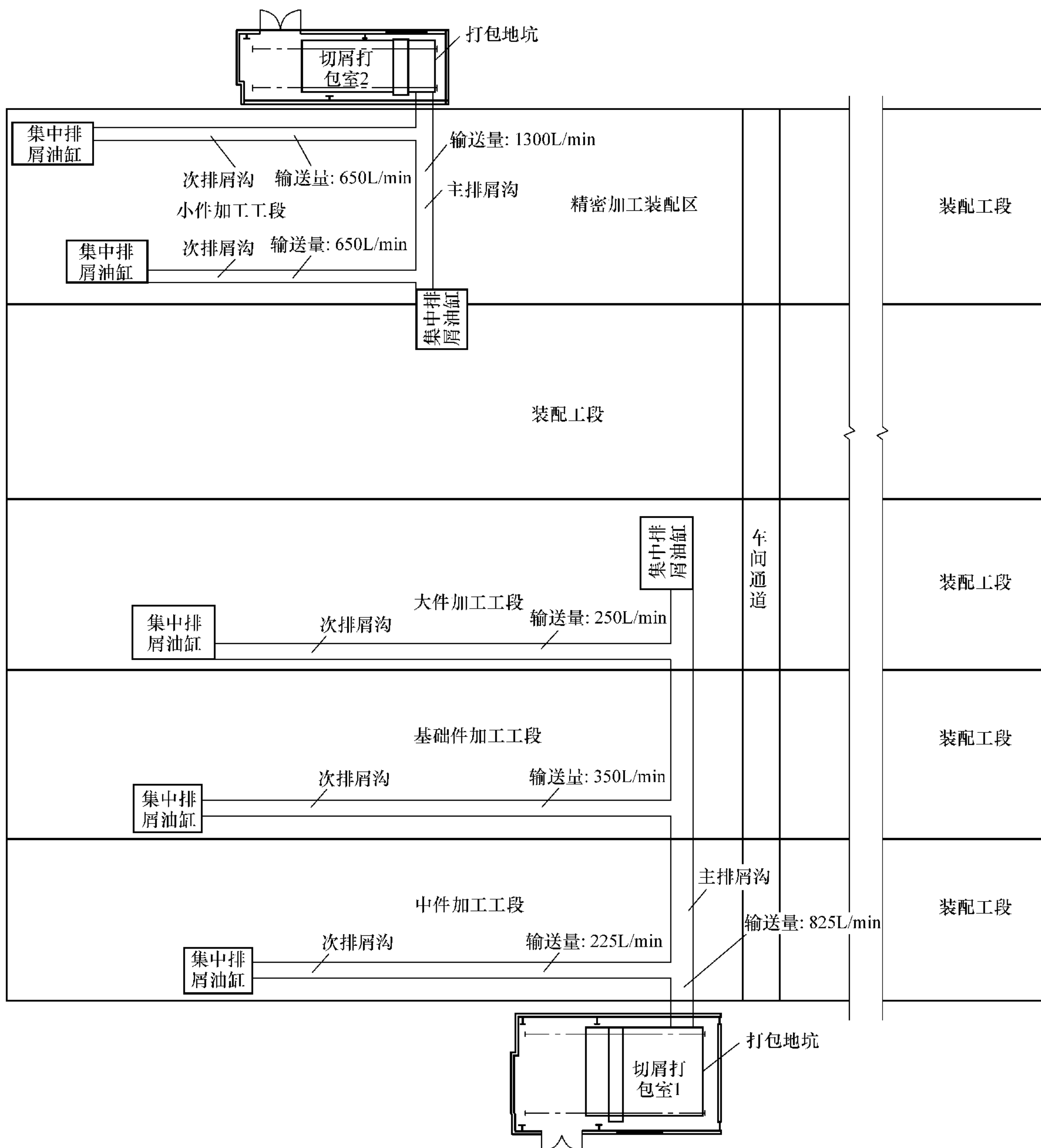


图 4-145　车间集中排屑装置示意图

（3）车间集中排屑中的几个关键问题

1）切削液的分离：采用车间集中排屑时，应加装断屑机和离心甩干机，以使切削液从切屑中分离出来后回收再利用。

2）切屑的分离：采用车间集中排屑时，应根据生产单元的不同，采取相应的切屑输送装置来实现铸铁屑与钢屑的分离、团状/条状/块状切屑与粉末状/颗粒状切屑的分离等。如某汽车制造企业将变速箱、分动箱齿轮和前后桥减速器齿轮的加工设备集中布置为齿轮加工单元，一些标准件和小型轴、盘类零件的加工设备集中布置为中小件加工单元，发动机和底盘等大件的加工设备集中布置为大件加工单元。

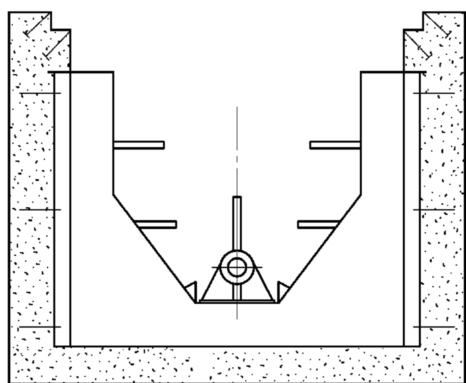


图 4-146　自制推杆式排屑器的剖面示意图

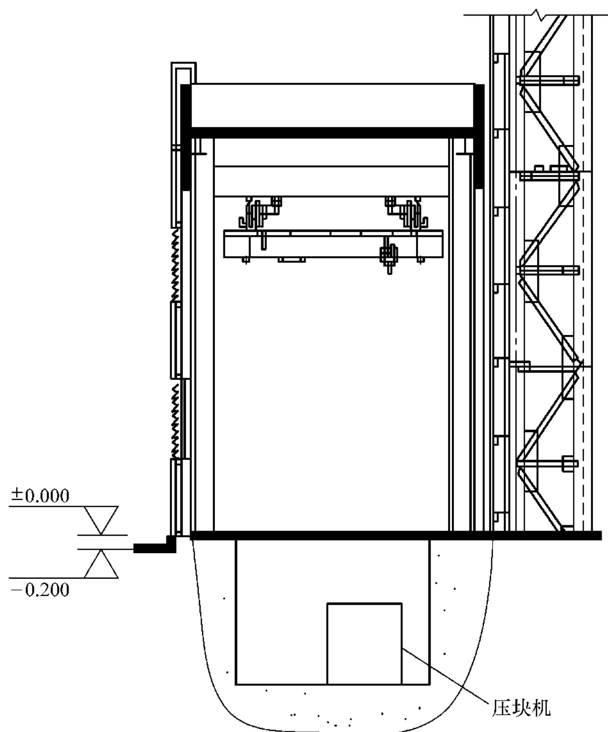


图 4-147　切屑打包室的剖面示意图

3）铁屑的打包压块：为提高铁屑的回收融化率（铁屑块密度超过 6.5×10^3kg/m^3 时铁的回收率达 90% 以上）及减小其运输体积，应将铁屑进行打包压块——先用断屑机将铁屑断成很小的碎屑后，再用压块机以较大的压力将其压制为密度达 6.5×10^3kg/m^3 以上的铁屑块。

第5章

数控机床通信及网络控制技术

随着数控技术的不断发展，现代数控机床的自动化程度越来越高，模块化程度越来越强。通过信息的传输和数据的交换将数控机床集成到复杂的生产周期工作流和公司的 IT 结构中，已成为现代制造公司发展的一种趋势。由此，自动化的通信网络就成为数控系统不可缺少的重要组成部分。SINUMERIK 系列产品涉及的通信网络有 RS232 串行通信、MPI 通信、Profibus 通信、ProfiNET 通信、SMS 通信和存储卡通信等。

5.1 RS232 串行通信技术及应用

5.1.1 RS232 异步串行通信数据格式及接口信号

1. RS232 串行通信数据格式

RS232 串行通信是指通信的发送方和接收方之间数据信息的传输在单根数据总线上完成，每次以 1 个二进制的 0、1 为最小单位进行传输的一种通信方式。为实现串行通信并保证数据的正确传输，要求通信双方遵循某种约定的规程。目前，在计算机及数控系统中最简单常用的规程是异步通信控制规程，或称异步通信协议，其特点是通信双方以一帧作为数据传输单位，每一帧从起始位开始，后跟数据位（位长度可选）、奇偶校验位（奇偶检验可选），最后以停止位结束。起始位表示 1 个字符的开始，接收方可用起始位使自己的接收时钟与数据同步。停止位表示 1 个字符的结束。这种用起始位开始、停止位结束所构成的一串信息称为帧。

异步串行通信的数据格式如图 5-1 所示。在传送 1 个字符时，由 1 位低电平（逻辑 0）的起始位开始，接着传送数据位（7 位或 8 位）。传送数据时，按低位在前、高位在后的顺序一位一位地传送。奇偶校验位用来检验所接收数据的奇偶性，以判定传送过程是否出错。奇校验还是偶校验甚至不校验均由系统参数设定（奇校验时发送方发送的每帧数据的数据位和奇偶校验位中“1”的个数为奇数，偶校验则为“0”的个数为偶数）。最后传送的是高电平的停止位，停止位可以是 1 位或 2 位。起始位到下一个字符的起始位之间的空闲位由电平 1 来填充（只要不发送下一个字符，线路就始终处于不定长的空闲位）。SINUMERIK 系统异步通信中帧的格式是：1 位起始位、8 位数据位、1 位奇偶位和 1 位停止位。

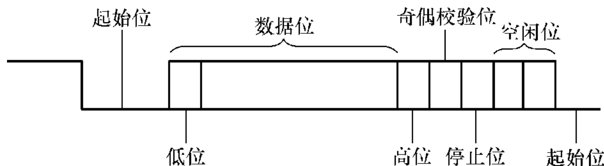


图 5-1 RS232 异步串行通信的数据格式

2. RS232 串行通信接口信号

SINUMERIK 系统的机床侧配置 9 芯针式 D 型插头/座（见表 5-1），外设计算机侧为 9 芯或 25 芯 D 型插头，数据传送前需配备 1 条长度不超过 15m（ >15m 时会造成数据传输错误或无法

传输）的带有屏蔽的 RS232 通信电缆（见图 5-2）。若计算机侧没有 9 芯或 25 芯接口时，可借助 USB 转接口和适配器来实现数据的传输。RS232 通信接口的信号如下：

1）DCD：接收信号输入电平，用于数据载波的检测。

2）RxD：接收数据信号。当通信条件满足时，外部设备向 CNC 系统传输数据。

3）TxD：发送数据信号。当通信条件满足时，CNC 系统向外部设备传输数据。

4）DTR：外部设备准备就绪信号。CNC 接收到外部设备发出的 CTS 信号时，CNC 向外部设备发出该信号。

5）DSR：运行就绪状态信号，即数据组准备好。

6）RTS：发送请求信号。当 CNC 开始传送数据时该信号为 ON，结束时被设置为 OFF。

7）CTS：允许发送信号。当该信号和 DSR 信号同时被设置为 ON 时，CNC 可以传送数据。

表 5-1　适合 RS232 串行通信的 SINUMERIK 系统及接口位置

序号	SINUMERIK 系统	RS232 接口位置	序号	SINUMERIK 系统	RS232 接口位置
1	802S/C base line	ECU 的 X2	4	810D power line	PCU20 的 COM2（9 芯）
2	802D（802D base line）	PCU 的 X6	5	840D power line	PCU50 的 COM2（9 芯）
3	802D solution line	PCU 的 X8	6	840D solution line	PCU50 的 COM2（9 芯）

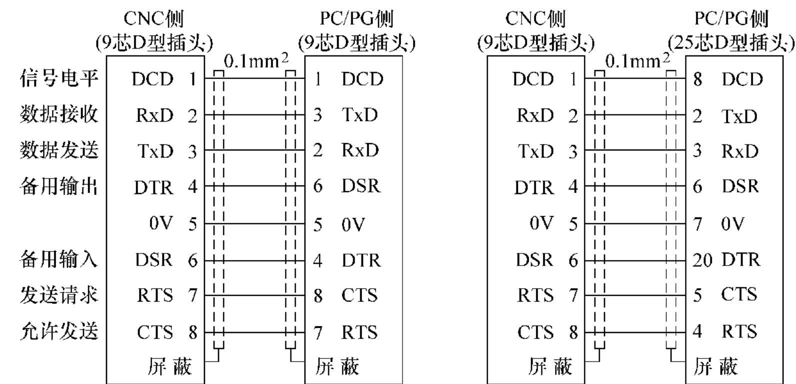


图 5-2　RS232 通信电缆的接线图

注：针脚 1（DCD）仅在 SINUMERIK 802D solution line 系统时连接。

5.1.2　SINUMERIK 系统的存取权限

SINUMERIK 系统针对不同的操作人员、用户和服务工程师以及机床制造厂商，设定了 8 个等级权限（见表 5-2）：4 个密码等级和 4 个钥匙开关等级。只有具备相应的权限后才能执行相关操作，如数据管理、参数修改、系统配置及故障诊断等。

表 5-2　SINUMERIK 系统等级权限的分类

序号	权限级别	适用对象	密码或钥匙	对应接口信号
1	保护等级 0	西门子公司	???（保密）	
2	保护等级 1	机床制造厂商	SUNRISE（默认）	
3	保护等级 2	安装调试工程师	EVENING（默认）	
4	保护等级 3	最终用户	CUSTOMER（默认）	

（续）

序号	权限级别	适用对象	密码或钥匙	对应接口信号
5	保护等级 4	编程人员	橙色钥匙	★为 V26000000.7
				●为 DB10.DBX56.7
6	保护等级 5	资深操作者	绿色钥匙	★为 V26000000.6
				●为 DB10.DBX56.6
7	保护等级 6	已培训的操作者	黑色钥匙	★为 V26000000.5
				●为 DB10.DBX56.5
8	保护等级 7	半熟练操作者	无需钥匙	★为 V26000000.4
				●为 DB10.DBX56.4

注：★指 SINUMERIK 802S/C base line、802D 和 802D solution line 系统；●指 SINUMERIK 810D（840D）power line 和 840D solution line 系统。

1. 用户数据读写权限的设定

SINUMERIK 系统通过机床数据（machine data）参数对用户数据的读写权限进行了定义（见表 5-3），操作者只有在相关读写权限激活的情况下才能对用户数据进行读取、写入或修改等操作。SINUMERIK 系统的用户数据包括刀具数据、零点偏置、设定数据、R 参数、加工程序以及 RS232 参数。

表 5-3 用户数据读写权限对应的机床数据参数

机床数据号			机床数据名称	设定值	涉及用户数据的功能
802S/C base line	802D/802Dsl	810D/840D/840Dsl			
205	207	9200	USER_ CLASS_ READ_ TOA	3 – 7	保护等级：刀具偏置量读取
206	208	9201	USER_ CLASS_ WRITE_ TOA_ GEO	3 – 7	保护等级：刀具几何量写入
207	209	9202	USER_ CLASS_ WRITE_ TOA_ WEAR	3 – 7	保护等级：刀具磨损量写入
208	210	9210	USER_ CLASS_ WRITE_ ZOA	3 – 7	保护等级：可设定零点偏移的写入
210	212	9215	USER_ CLASS_ WRITE_ SEA	3 – 7	保护等级：设定数据写入
211	213	9216	USER_ CLASS_ READ_ PROGRAM	3 – 7	保护等级：加工程序读取
212	214	9217	USER_ CLASS_ WRITE_ PROGRAM	3 – 7	保护等级：写/编辑程序
213	215	9218	USER_ CLASS_ SELECT_ PROGRAM	3 – 7	保护等级：加工程序选择
216	218	9222	USER_ CLASS_ WRITE_ RPA	3 – 7	保护等级：R 参数写入
217	219	9223	USER_ CLASSS_ SET_ V24	3 – 7	保护等级：RS232 接口配置

2. 读写权限的变更

所有用户数据的读写权限并不是设定好就不可改变，通过 APR（指定允许读的级别）和 APW（指定允许写的级别）重新定义密码即可实现对任意用户数据保护等级的修改。

密码定义格式：REDEF　机床数据或设定数据　$\underbrace{\text{APRn　APWn}}_{\text{保护等级}}$

其中，n 是取值范围 0 ~ 7（对应 8 个保护等级）。

在 SINUMERIK 810D/840D 系统中，机床数据权限变更的示例如下：

%_ N_ SGUD_ DEF ;	全局变量文件
; $PATH = /_ N_ DEF_ DIR ;	文件存放路径（“ = /”后为 NC – RAM 中的目录名称）
REDEF $MA_ CTRLOUT_ SEGMENT_ NR APR 2 APW 2；	机床数据 MD30100（设定值指定驱动器的类型）的读取级别和写入级别均被定义为表 5-2 中的“保护等级 2”
REDEF $MA_ ENC_ SEGMENT_ NR APR 2 APW 2；	机床数据 MD30210（实际值指定驱动器的类型）的读取级别和写入级别均被定义为表 5-2 中的“保护等级 2”
REDEF $SN_ JOG_ CONT_ MODE_ LEVELTRIGGRD APR 2 APW 2；	机床数据 MD41050（JOG 连续的指定：1—JOG 方式，0—连续操作）的读取级别和写入级别均被定义为表 5-2 中的“保护等级 2”
M30；	程序结束并返回程序头

3. *用户数据读写权限的激活*

1）对于保护等级 4 ~ 7，可直接通过 MCP 上的 4 工位钥匙开关（见图 5-3）来激活，钥匙开关会把接通的信号传送至 PLC 接口（见表 5-2），并由 S7 – 200/300 PLC 程序进行逻辑控制。

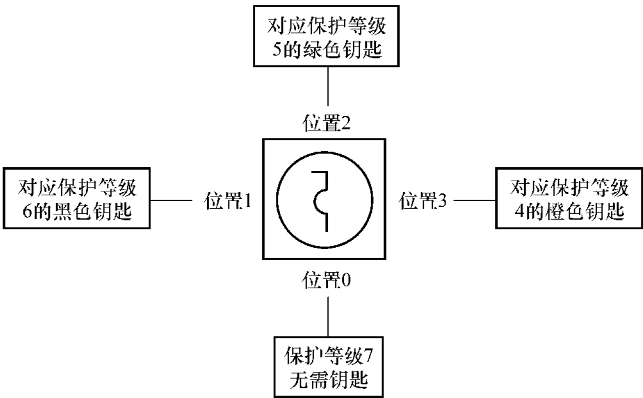
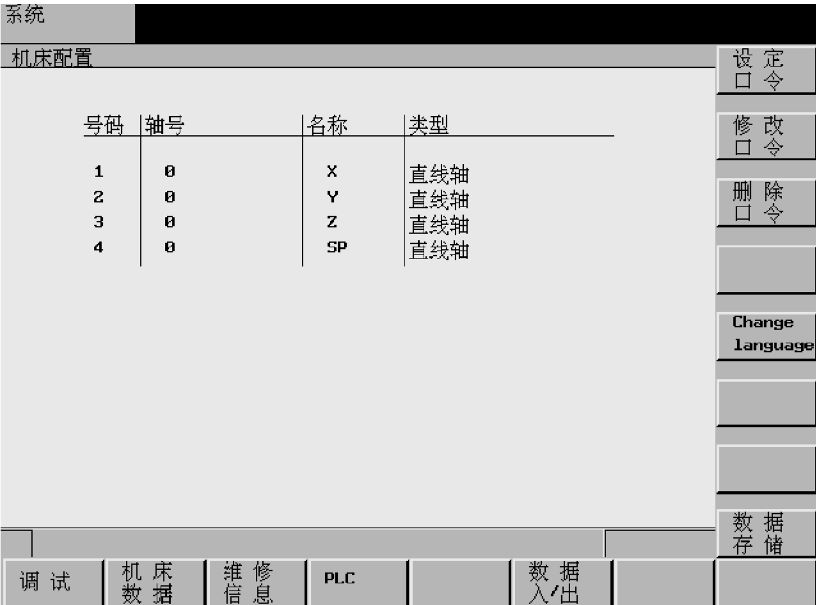


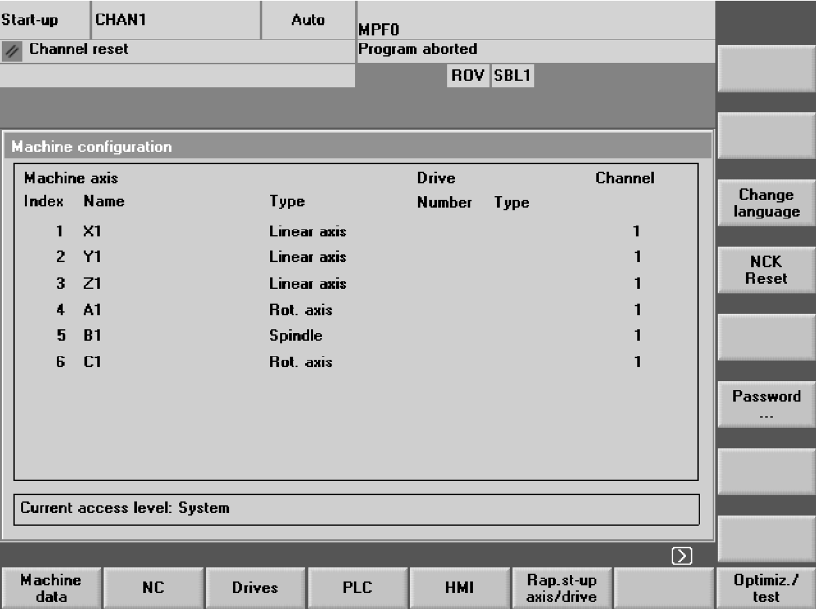
图 5-3　SINUMERIK 系统的 4 工位钥匙开关示意图

2）对于保护等级 0 ~ 3，需要在图 5-4 所示的画面中输入对应的已知密码来激活，同时在该画面中也可对已设定的密码进行修改或删除的操作。对 SINUMERIK 802D 系统，按［ALT］键 + N 键可进入图 5-4a 所示界面。对 SINUMERIK 802Dsl 系统，同时按 CNC 键盘上的［SHIFT］切换

键和［SYSTEM/ALARM］切换键，可进入到密码设置、修改及删除操作界面。对 SINUMERIK 840D/840Dsl 系统，按［Start－up］（开机调试）水平软键即可进入到图 5-4b 所示界面［PCU 内装 HMI－Advanced（高级 HMI）软件时显示此画面，与装载 HMI Embedded（内嵌式 HMI）软件时所显示的画面有一定的差别］。



a)



b)

图 5-4　SINUMERIK 系统的密码设置、修改及删除操作界面

a）SINUMERIK 802D 系统　b）SINUMERIK 840D/840Dsl 系统

5.1.3　WinPCIN 软件使用与数据传输

基于 Windows 操作平台的 WinPCIN 是外设计算机（PC）与 SINUMERIK 系统（不包括 802Dsl 系统）之间通信的工具软件。通过 WinPCIN 软件，可以传送格式为文本文件（纸带格式）和二进制文件（PC 格式）的各种系统数据（见表 5-4）。其中，零件程序等文本文件可在文本显示器中显示，并可在编辑器内进行编辑或修改操作；试车数据等二进制文件的系统数据一定不能在 PC 上用“记事本”或“写字板”等方式打开，否则会因系统数据的文件校验部分被破坏而导致其不能回装至 SINUMERIK 系统中。

表 5-4　SINUMERIK 系统的系统数据

序号	数据类型	内　　容	文 件 类 型
1	零件程序和子程序	主程序目录内的所有零件程序文件	文本文件
2	标准循环	固定循环目录内的所有固定循环文件	文本文件
3	各种数据	机床数据	文本文件
4		设定数据	文本文件
5		刀具参数	文本文件
6		R 参数	文本文件
7		零点偏移	文本文件
8		丝杠螺距误差补偿	文本文件
9	试车数据（到 PC）	试车数据包含机床数据、设定数据、刀具参数、R 参数、零点偏移、螺距误差补偿值、用户报警文本、PLC 应用程序、零件加工程序和固定循环	二进制文件
10	PLC 应用程序	PLC 应用程序（含报警文本）到 PC	二进制文件
11	PLC 选择报警文本	PLC 用户报警文本到 PC	二进制文件

1. WinPCIN 软件的安装与卸载

1）软件安装（见图 5-5）：单击 WinPCIN 文件夹中的 setup. exe，开始 WinPCIN 的安装。依次单击［Next］和［Yes］键后，设置安装路径（如 d：\ program files \ siemens \ winpcin），并根据提示连续单击［Next］和［Finish］完成软件的安装。

2）软件卸载（见图 5-6）：先结束 WinPCIN 软件的运行，在左下角“开始”菜单“设置”项中单击“控制面板”进入控制面板画面，选择“添加/删除程序”，在添加或删除程序画面中选中 WinPCIN，单击［更改/删除］完成 WinPCIN 软件的卸载。

2. 计算机侧 RS232 接口参数的设定

在数控机床和计算机断电的情况下连接好 RS232 通信电缆（6ES7901－1BF00－0XA0），然后接通机床和计算机的电源。在计算机上运行 WinPCIN 程序，单击主菜单中［RS232 Config］水平键进入 RS232 接口参数设定画面（见图 5-7）。在此画面中，设定 PC 侧通信端口为 COM8、通信波特率为 19200bit/s、奇偶校验位为不校验、数据位为 8、停止位为 1、数据流控制为 RTS/CTS 硬件流控制（因其使用信号线传送控制命令，故比 XON/XOFF 软件流的控制速度要快），单击右侧垂直键［Save & Activate］保存并激活 RS232 接口参数的设定，然后单击［Back］键返回 WinPCIN 软件的主菜单。

3. SINUMERIK 系统侧 RS232 串行通信的参数设定

1）在 SINUMERIK 系统的密码设置、修改及删除操作界面（见图 5-4）中，激活 RS232 串行

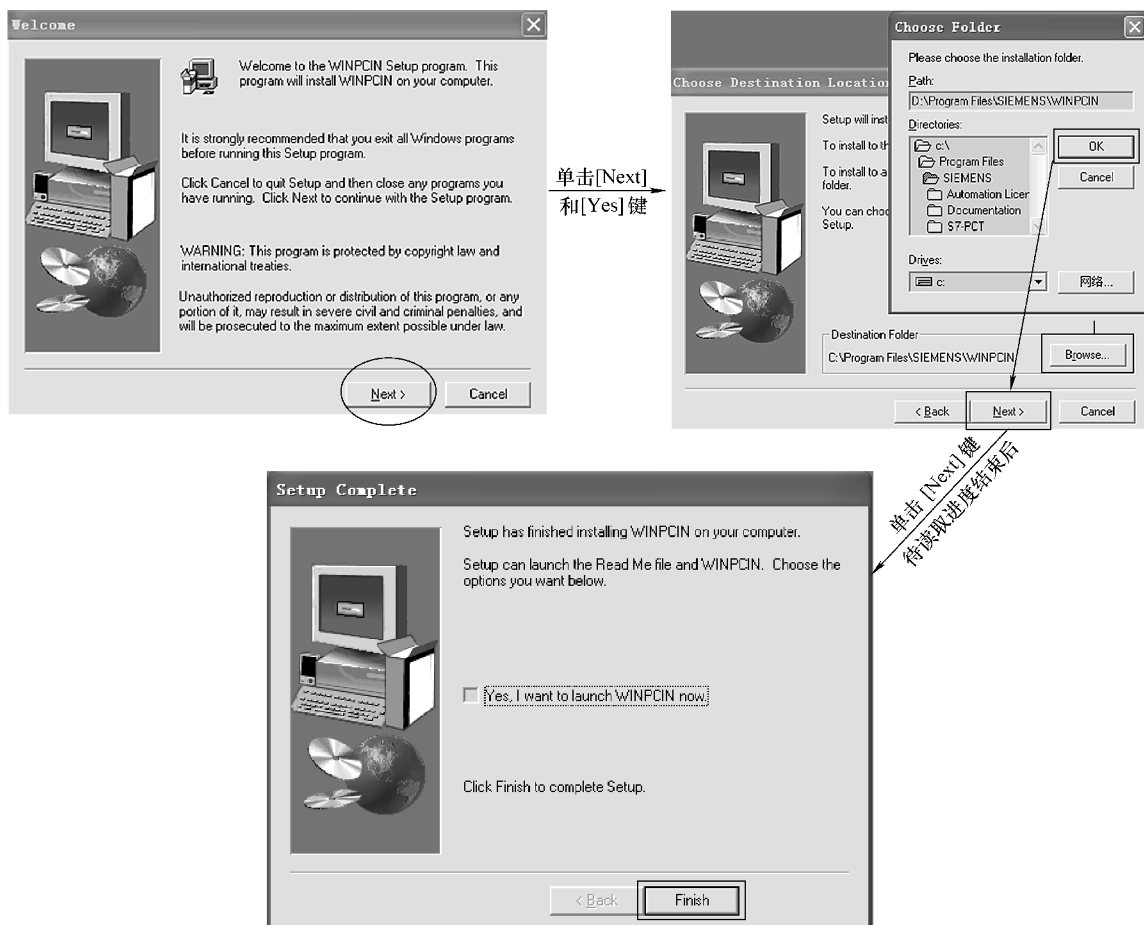


图 5-5 WinPCIN 软件的安装过程

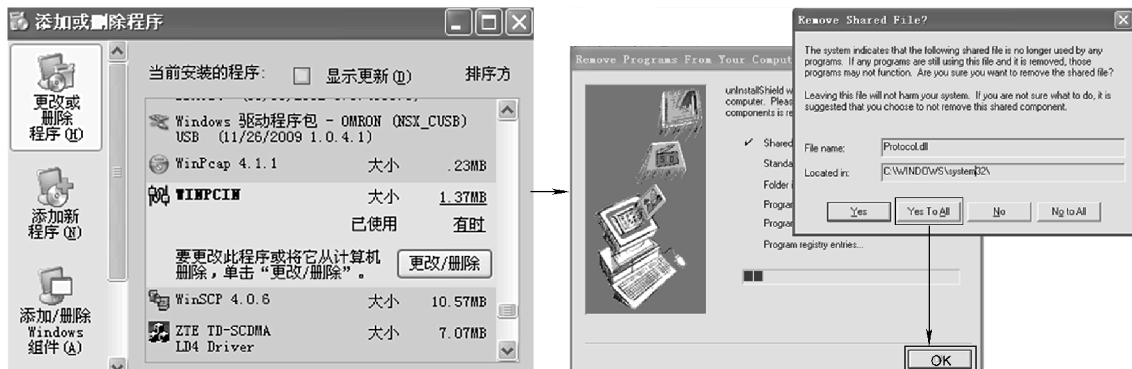
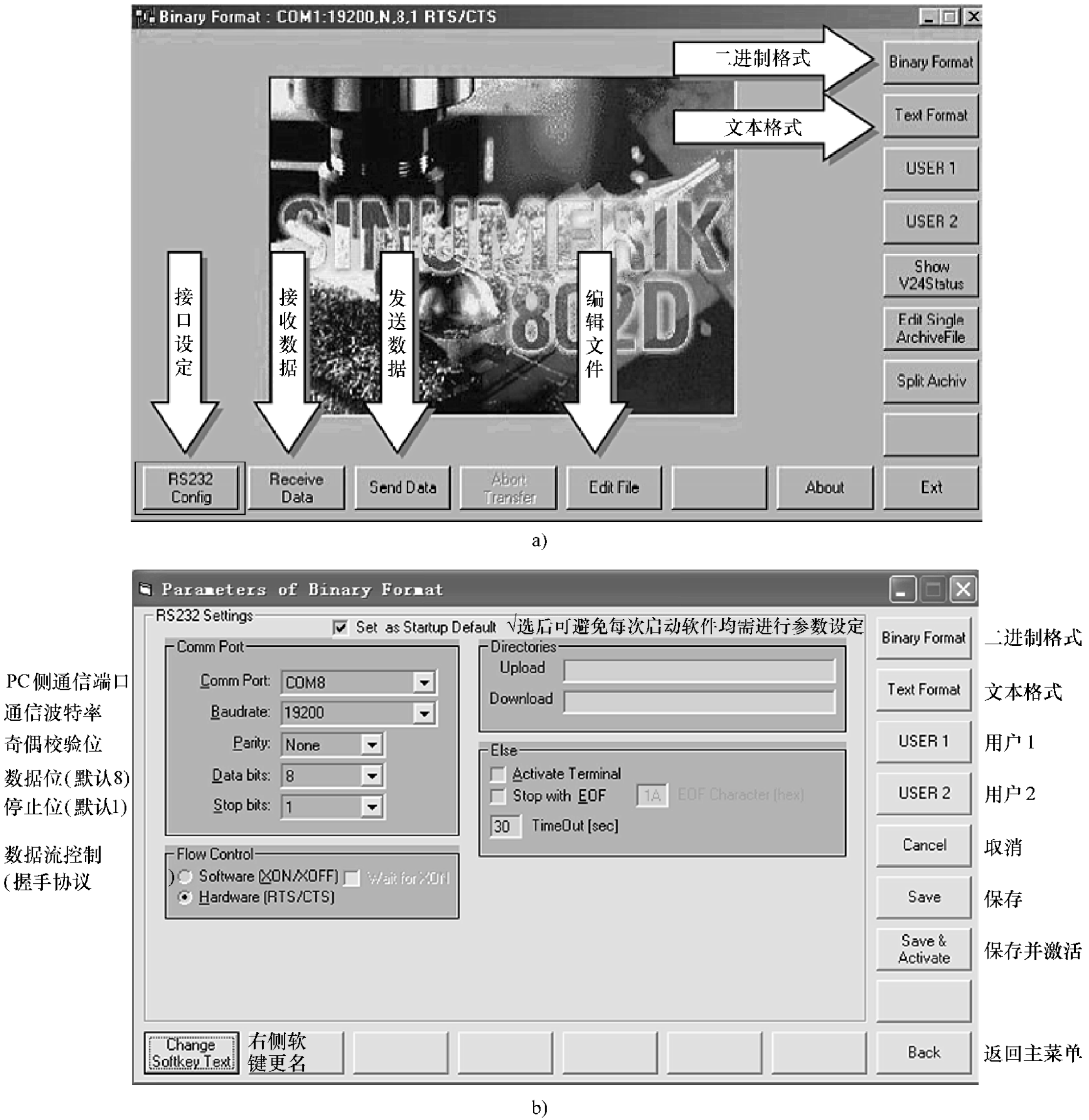


图 5-6 WinPCIN 软件的卸载过程

通信参数设定的存取权限——保护等级 2（EVENING）。

2）SINUMERIK 802S/C base line 系统：通过面板上的［区域转换］按键和［通信］软键进入通信操作区后，单击［RS232 设置］水平软键进入 RS232 接口参数设定画面。在此画面中，根据待传输数据的文件类型（见表 5-4）选择水平软键［RS232 文本］或［RS232 二进制］，按图 5-8 所示完成相应参数的设定，并单击［确认］键进行存储。

3）SINUMERIK 802D 系统：同时按下［ALT］键和 N 键进入图 5-4a 所示的初始画面，选择



注：1. 欧美机床的数据位一般为 8 位，日本机床一般为 7 位。
2. SINUMERIK 系统为 RTS/CTS 硬件流控制，FANUC 系统为 XON/XOFF 软件流控制。
3. 降低波特率可提高传输距离，避免通信现场电磁的干扰。
4. 除通信端口外，其余参数与 CNC 侧相同。

图 5-7　计算机侧 RS232 接口参数的设定

a）WinPCIN 软件的主菜单　b）RS232 接口参数设定画面

［数据入/出］功能软键，并按［RS232 设置］水平软键进入 RS232 接口参数设定画面（见图 5-9）。在此画面中，根据待传输数据的文件类型（见表 5-4）选择垂直软键［文本形式］或［二进制形式］，通过光标向上键或向下键选择接口参数，并通过［选择/转换］键改变参数的设定值。完成相应参数的设定［设备为 RTS/CTS，波特率为 19200bit/s（据数据传输的可靠性确定波特率，一般为 9600bit/s 或 19200bit/s），停止位为 1，奇偶校验为 None，数据位为 8，传输结束为 1a，改写配置为 N，用 CRLF 结束、用 EOF 停止及穿孔带格式均为 Y］后，单击右侧［存储］垂直软键进行参数设定的保存。



图 5-8 SINUMERIK 802S/C base line 系统中 RS232 接口参数的设定

a）通信区主菜单 b）文本文件类型时 RS232 参数设定画面 c）二进制文件类型时 RS232 参数设定画面

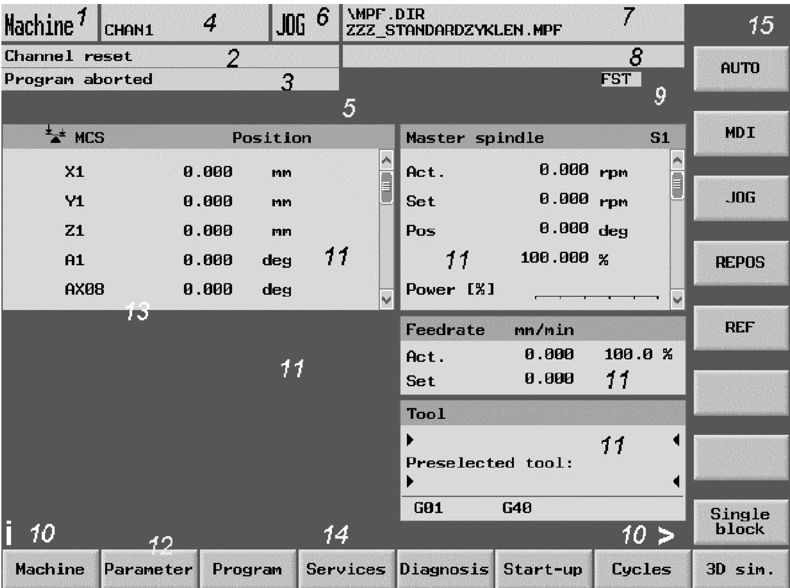
① 应为通信，下同。



图 5-9 SINUMERIK 802D 系统 RS232 接口参数设定画面

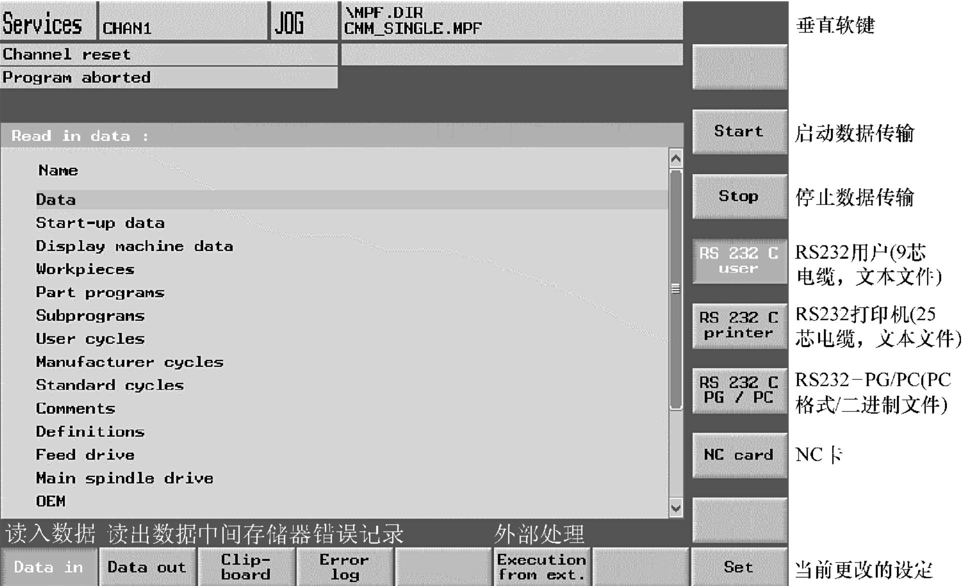
4）SINUMERIK 810D/840D 系统：单击［MENU SELECT］操作区切换键进入图 5-10a 所示的基本画面，再单击基本画面中的［Services/服务］水平软键（有的定义为［通信］软键）进入图 5-10b 所示的服务基本画面［PCU 内安装 HMI Embedded（内嵌式 HMI）软件时显示此画面，与装载 HMI－Advanced（高级 HMI）软件时的画面有一定的差别］。在服务基本画面中，选择垂直软键［RS232C user］或［RS232C PG/PC］进入 RS232 接口参数设定画面，通过光标上/下/左/右键定位选择接口参数，并通过［选择/切换］键改变参数的设定值或用该键激活/取消

特殊功能。对照表 5-5 所示内容完成相应参数的设定后，单击［Set］键进行存储。SINUMERIK 840Dsl 系统的 RS232 接口参数设定与 SINUMERIK 840D 系统基本相同。



a)

1—操作区　2—通道状态　3—程序状态　4—通道名称　5—报警和信息行
6—工作方式　7—所选程序的程序名称/路径　8—通道运行信息
9—程序影响　10—可调用的附加注释(帮助)　11—工作窗口和NC显示
12—带有操作提示的对话框行　13—焦点　14—水平软键　15—垂直软键



b)

图 5-10　SINUMERIK 810D/840D 系统中 RS232 接口参数的设定

a）单击［MENU SELECT］操作区切换键进入系统基本画面　b）单击［Services］水平软键进入服务基本画面

表 5-5 SINUMERIK 810D/840D 系统中 RS232 接口参数的值

序号	接口参数名称	接口参数值	序号	接口参数名称	接口参数值
1	设备	RTS/CTS	9	XON 后开始	N
2	波 特 率	9600bit/s	10	确认覆盖	N
3	停止位	1	11	CRLF 为段结束	PC 格式：N 纸带格式：Y
4	奇偶校验	NONE	12	遇 EOF 结束	
5	数据位	8	13	纸带格式	
6	XON	11	14	测 DRS 信号	N
7	XOFF	13	15	前后引导	N
8	传输结束	1a			

4. SINUMERIK 系统数据的备份与恢复

1）数据传送原则：不管是备份系统数据还是恢复系统数据，永远是准备接收数据的一方先准备就绪，即 PC→CNC 时应使 CNC 侧处于等待接收数据的状态，反之为 PC 侧处于等待接收数据的状态。

2）SINUMERIK 802S/C base line 系统数据的备份（CNC→PC）：在 PC（禁用网络连接）与 CNC 连接正常（WinPCIN 软件中 Show V24Status 全部点亮呈红色）的前提下，按下 WinPCIN 软件中的［Receive Data］软键并设定好保存路径（文件名可与 CNC 侧的程序名不同），使 PC 侧处于等待接收数据的状态。此时 WinPCIN 软件的水平软键条变灰色，Show V24Status 的 RTS 灯点亮呈绿色，其余亮红灯。接下来，在图 5-8a 所示的通信区主菜单中，通过光标向上键或向下键选定即将向 PC 侧输出的目标数据后，单击主菜单中的［输出启动］水平软键开始向 PC 侧传送数据。数据传输过程中 Show V24Status 的 RX 亮绿灯并不断闪烁，以表明数据正在传送。数据传输结束时 Show V24Status 的 RTS 灯点亮呈绿色，其余亮红灯，等待几十秒后 RTS 灯由绿色变为红色，且 WinPCIN 软件的水平软键条由灰色变为亮显，表明数据备份完毕。

3）SINUMERIK 802S/C base line 系统数据的恢复（PC→CNC）：单击通信区主菜单中的［输入启动］水平软键，使 CNC 侧处于等待接收数据的状态。在 WinPCIN 软件侧，单击［Send Data］软键后，选定 PC 内的待传送数据，即可开始数据的读入。

4）SINUMERIK 802D 系统数据的备份（CNC→PC）：PC 侧 WinPCIN 软件的操作与 SINUMERIK 802S/C base line 系统数据备份的操作相同。在图 5-11 所示的系统数据选择画面中，先通过光标向上键或向下键选定即将向 PC 侧输出的目标数据，再依次单击垂直软键［读出］和［启动］，即可开始数据的读出。

5）SINUMERIK 802D 系统数据的恢复（PC→CNC）：单击系统数据选择画面中的［读入］软键，使 CNC 侧处于等待接收数据的状态。在 WinPCIN 软件侧，单击［Send Data］软键后，选定 PC 内待传送的数据，便可将其传送至 SINUMERIK 802D 系统的 SRAM 区（即工作数据区）。此时，应在 CNC 侧做一次数据的机内存储（PLC 程序除外），将 SRAM 区已修改过的有用数据存放至 16M 的高速闪存 FLASH ROM 区（即数据备份区），以防止 SRAM 区内数据的丢失和永久保存这些数据。

通常，SINUMERIK 802D 系统断电后 SRAM 区的数据由储能电容 C 上的电压至少保持 50h（一般为 7 天左右）。机床以方式 0 正常上电启动时，系统会根据电容 C 上的电压情况（SRAM 区掉电），自动将数据备份区上一次存储的系统数据装入 SRAM 区，并以方式 3 启动。待系统启动完毕后，PCU 面板屏显 004062 报警（即机内存储数据被装载），按［复位］键可清除报警。若未做过系统数据的机内存储备份，系统会将出厂数据区的系统数据装入 SRAM 区，并以方式 1 启



图5-11 SINUMERIK 802D系统数据选择画面



图5-12 SINUMERIK 802D系统的启动方式画面

动，此时工作数据区的原有制造商机床数据将被覆盖掉。待系统启动完毕后，PCU面板屏显004060报警（即标准机床数据被装载），按［复位］键可清除报警。SINUMERIK 802D系统的启动方式画面如图5-12所示。

6）SINUMERIK 828D系统数据的备份（CNC→PC）：PC侧WinPCIN软件的操作与SINUMERIK 802S/C base line系统数据备份的操作相同。在SINUMERIK Operate操作界面上，选择操作区域“程序管理器”并按下［NC］键或［本地］键（或者选择操作区域“启动”并按［系统数据］键）后，选中需要经RS232输出的目录或文件，再依次按下［>>］键、［存档］键和［RS232C发送］键，即可开始数据的读出。

7）SINUMERIK 828D系统数据的恢复（PC→CNC）：在SINUMERIK Operate操作界面处的操作与数据备份基本相同，仅是将［RS232发送］键改为［RS232C接收］键。待CNC侧处于等待接收数据状态时，单击WinPCIN软件中的［Send Data］软键，并选定PC内待传送的数据，即可开始数据的读入。

8）SINUMERIK 810D/840D/840Dsl系统数据的备份（CNC→PC）：PC侧WinPCIN软件的操作与SINUMERIK 802S/C base line系统数据备份的操作相同。在图5-10b所示的服务基本画面中，先通过光标向上键或向下键选定即将向PC侧输出的目标数据，再依次单击水平软键［Data out］和［Start］，即可开始数据的读出。在传输过程中，随时可按下软键［Stop］来中断数据的读出。

9）SINUMERIK 810D/840D系统数据的恢复（PC→CNC）：单击服务基本画面中的水平软键［Data in］和垂直软键［RS232C user］，选定RS232用户。通过光标向上键或向下键将光标定位至目录树中所需的目录上，并用［Save setting］软键回跳至分配好的目录一览中。按下软键［Start］后根据现有的路径输入分配数据（一般选择“存档文件中的路径/工件”，使待输入的系统数据存储在预先用方向键选定的目录中），并单击［OK］软键使CNC侧处于等待接收数据的状态。在WinPCIN软件侧单击［Send Data］软键后，选定PC内待传送的数据，即可开始数据的读入。

5. SINUMERIK 系统数据在 RS232 传输过程中可能出现的信息提示

SINUMERIK 系统数据在 RS232 传输过程中可能出现的信息提示见表 5-6。

表 5-6 系统数据在 RS232 传输过程中可能出现的信息提示

序号	信息提示	信息内容
1	OK	数据传输结束，未出错
2	ERR EOF	接收到文本结束字符，但存档文件不完整
3	Time Out	时间监控器发出“传送中断”信号
4	User Abort	通过［停止］软键（或其他名称）中断数据的传送
5	Error Com	端口 COM1 出错
6	NC/PLC Error	NC 故障报警
7	Error Data	文件读入时带或不带先导符致数据传输出错
		穿孔带形式传送的文件没有文件名致数据传输出错
8	Error File Name	文件名不符合 NC 规范

5.1.4 RCS802 软件使用与数据传输

基于 Windows 操作平台的 RCS802 是外设计算机与 SINUMERIK 802Dsl 系统（版本有 value、plus 和 pro 等）之间通信的工具软件。通过 RCS802 软件，既可对 802Dsl 系统进行各种 NC 调试（如初始化文件、加工程序和螺距误差补偿文件等），也可传输 PLC 报警文本；既可进行所有数据的备份和恢复（如机床数据和试车数据等），也可实现点对点以太网通信。

1. RCS802 软件的安装与卸载

1）软件安装（见图 5-13）：在 SINUMERIK 802Dsl Toolbox 工具盒软件中找到并打开 RCS802 文件夹，单击此文件夹内的 setup. exe 开始软件的安装。依次单击［Next］和［Yes］键后，设置安装路径（如 d：\ program files \ siemens \ rcs802），并根据提示连续单击［Next］和［Finish］完成软件的安装。

2）软件卸载（见图 5-14）：先结束 RCS802 软件的运行，在左下角“开始”菜单“设置”项中单击“控制面板”进入控制面板画面，选择“添加/删除程序”，在添加或删除程序画面中选中 RCS802，单击［更改/删除］完成 RCS802 软件的卸载。卸载过程中需要根据画面的提示，多次单击［是］按键。

2. 计算机侧 RS232 接口参数的设定

在数控机床（PCU 面板的接口 X8）和计算机断电的情况下连接好 RS232 通信电缆，然后接通机床和计算机的电源。在计算机上运行 RCS802 程序，单击主菜单中的［Settings］并选择下拉菜单［Connection］（见图 5-15a），进入通信方式选择画面（见图 5-15b）。选择“via RS232”后单击［Configure］，然后根据提示选择通信端口并单击［Configure］，进入 RS232 接口参数设定画面（见图 5-15c）。完成相应参数的设定后，单击［OK］键进行参数设定的保存。

3. SINUMERIK 802Dsl 系统侧 RS232 串行通信的参数设定

1）在 CNC 键盘上同时按［SHIFT］切换键和［SYSTEM/ALARM］键，进入 SYSTEM 操作区基本画面（见图 5-16）。单击画面内的垂直软键［设置口令］后，根据画面提示输入保护等级 2 的密码——EVENING，并单击［接收］软键以激活系统数据存取权限。在 SYSTEM 操作区基本画面内，还可根据不同的存取权限来更改密码等级或将存取权限复位。

2）单击图 5-16 所示画面内的水平软键［调试文件］，进入调试文件画面。单击调试文件画面内的［RS232］水平软键进入 RS232 接口参数设定画面，并设定“设备方式为 RTS/CTS、波特

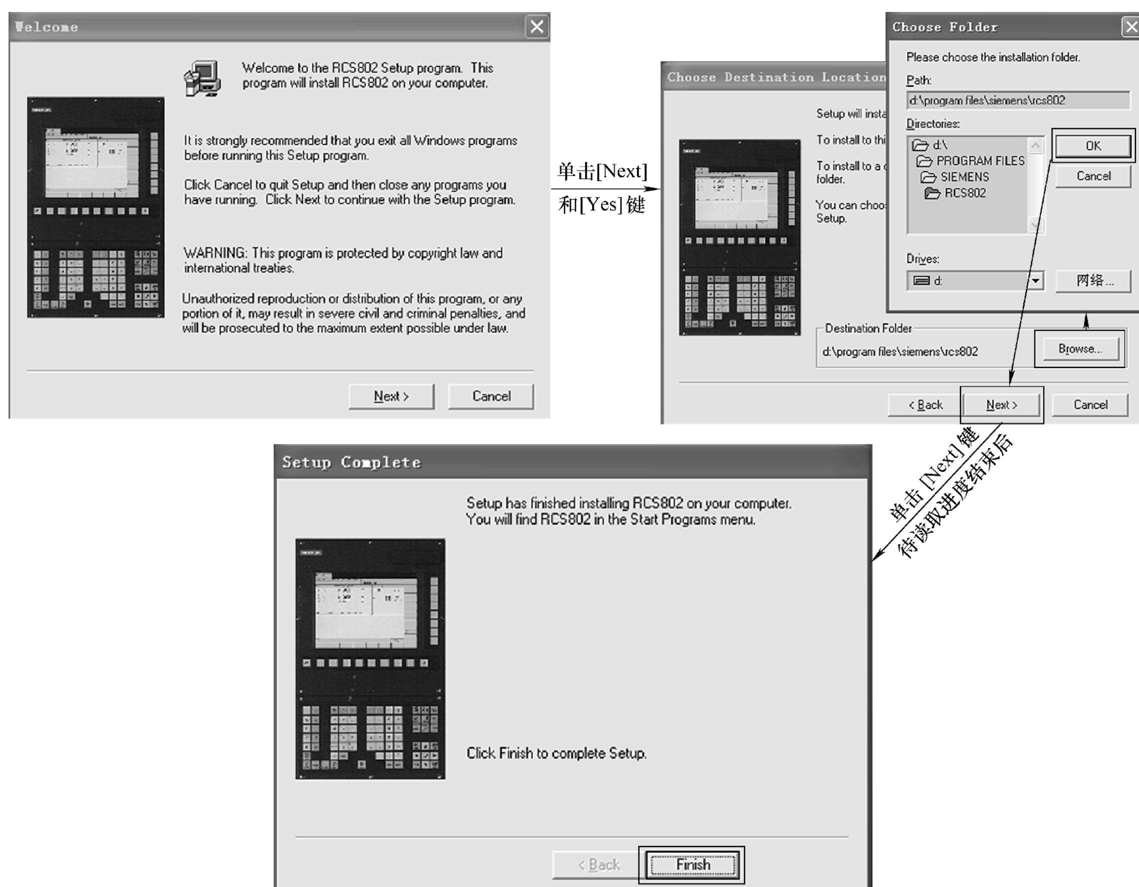


图 5-13　RCS802 软件的安装过程

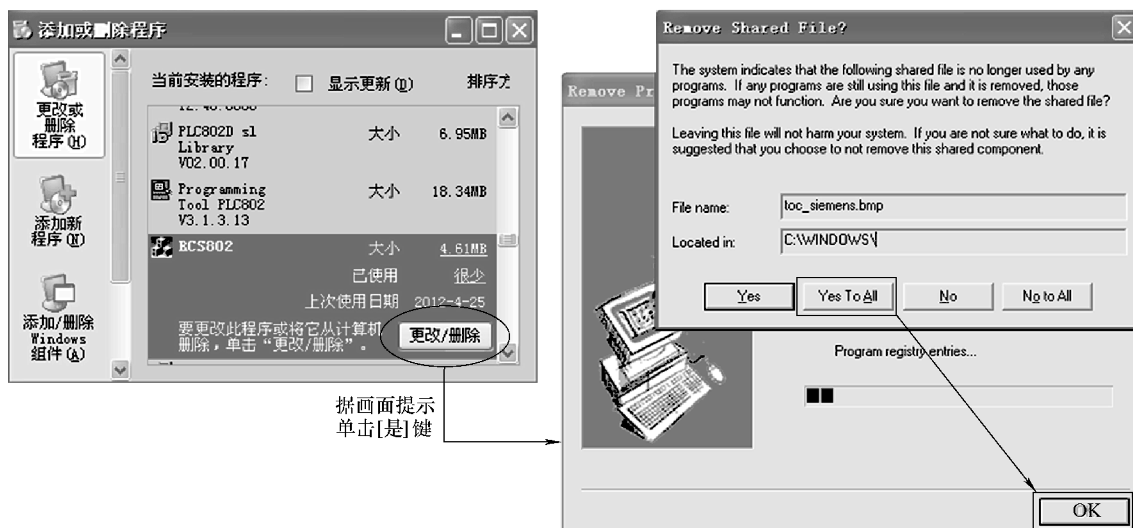
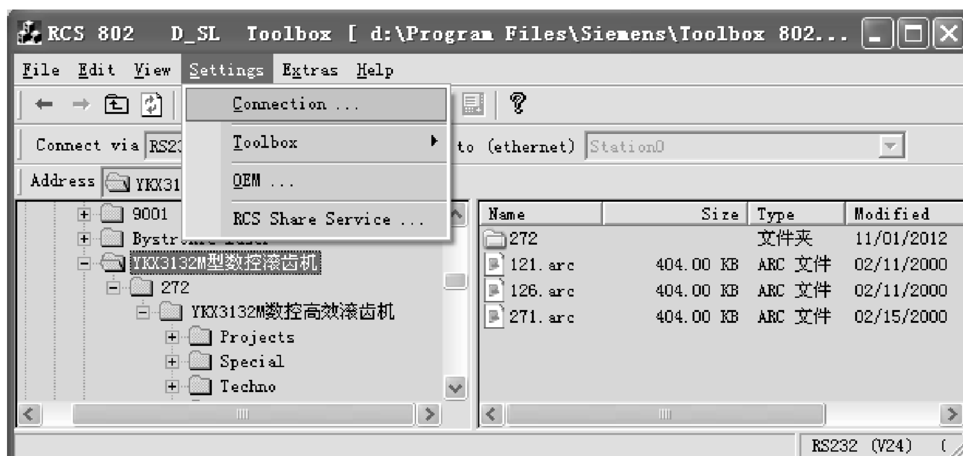
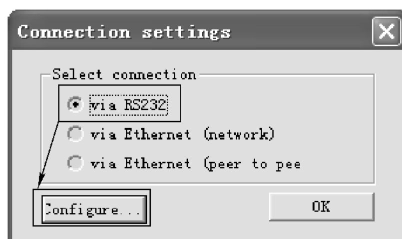


图 5-14　RCS802 软件的卸载过程

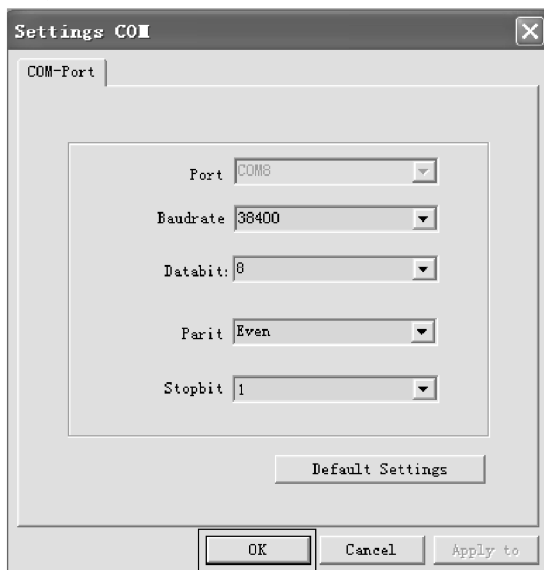
率为 19200bit/s、停止位为 1、奇偶校验为 None、数据位为 8、传输结束为 1a，默认覆盖为 N"，然后单击垂直软键［存储］使参数修改立即生效。



a)



b)



c)

图 5-15 计算机侧 RS232 接口参数的设定

a）RCS802 软件的主菜单 b）通信方式选择画面 c）RS232 接口参数设定画面

4. SINUMERIK 802Dsl 系统数据的备份与恢复

1）开机调试文档的备份（CNC→PC）：确保 PC（RCS802）与 CNC 连接正常的前提下，在 RCS802 软件侧 Control 802 - > 802D Data（A:）的目录树（见图 5-17）中，打开并选择调试文档目录——Start - up archive（NC/PLC/Drive/HMI），然后通过文本菜单（鼠标右键）单击“复制”。在 PC 目录树中选择目标目录并按下文本菜单“粘贴”，插入该开机调试文档。

2）开机调试文档（又称批量调试文件）的恢复（PC→CNC）：确保 PC（RCS802）与 CNC 连接正常的前提下，在 RCS802 的目录树中选择待传输的开机调试文档，并通过文本菜单（鼠标右键）单击“复制”。在 Control 802 - > 802D Data（A:）的目录树中，打开并选择调试文档目录——Start - up archive（NC/PLC/Drive/HMI），然后通过文本菜单单击“粘贴”即可。最后，启动批量开机调试，多次引导启动（暖启动）NC 和 PLC，并在批量开机调试结束时引导启动整个控制系统。



图5-16　SINUMERIK 802Dsl 系统的 SYSTEM 操作区基本画面

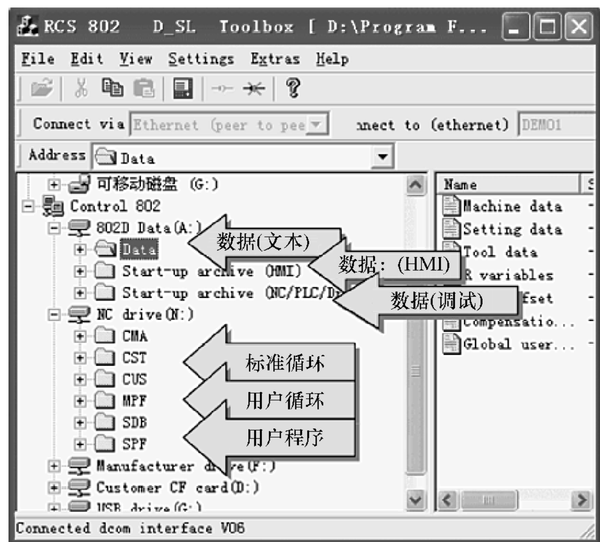


图5-17　RCS802 软件备份开机调试文档画面

5. 在进行 RS232 传输过程中可能出现的信息提示

在进行 RS232 传输过程中可能出现的信息提示参见表5-6。

5.2　MPI 通信技术及应用

5.2.1　MPI 通信简介

在 SINUMERIK 810D 系统中，CCU 模块通过一根传输速率为 187.5kbit/s 的 MPI 屏蔽总线电缆与 PCU20（中早期为 MMC100.2）、OP010/030、MCP、HHU 和外设 PG/PC 等操作部件实现连接（见图5-18a，注意终端电阻 R 的位置，即接通第1个和最后1个 MPI 插头的终端电阻置 ON

位置，其余节点的 MPI 插头终端电阻置 OFF），并遵守具有开放性的 MPI 通信协议。在 SINUMERIK 840D 系统中，NCU 模块通过一根传输速率为 1. 5Mbit/s 的 MPI 屏蔽总线电缆与 PCU50/50. 3/50. 5（中早期为 MMC103）、OP012/015、MCP、HHU/HT6 和外设 PG/PC 等操作部件实现连接（见图 5-18b），并遵守不具有开放性的 OPI 通信协议——MPI 通信协议的一个特例。

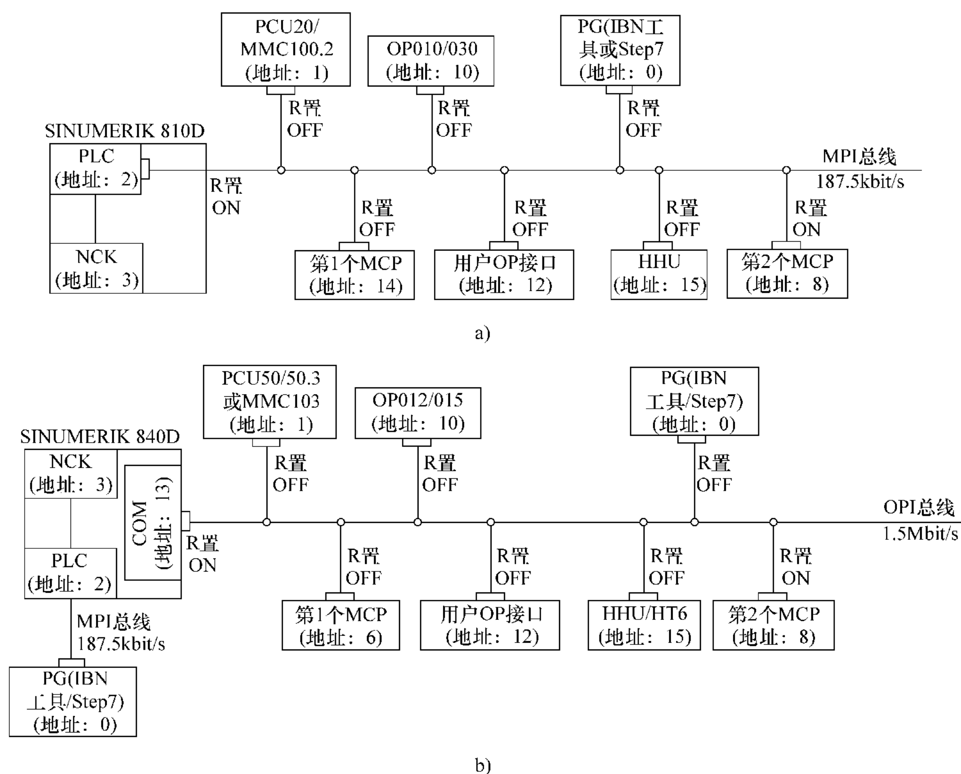


图 5-18 SINUMERIK 810D/840D 系统的 MPI 通信连接
a）SINUMERIK 810D 系统 b）SINUMERIK 840D 系统

MPI 通信是当通信速率要求不高、通信数据量不大时，可以采用的一种简单经济的通信方式，它可使用 S7－200/300/400 PLC、操作面板 TP/OP 及上位机 MPI/Profibus 通信卡（如 CP5512/CP5611/CP5613 等）进行少数站点间的近距离数据交换。MPI 的传输速率为 19. 2kbit/s～12Mbit/s，通常默认的传输速率为 187. 5kbit/s；与 S7－200 PLC 通信时，传输速率仅能指定为 19. 2kbit/s；与仅能设置为 Profibus 接口的 MPI 通信时，传输速率可设置为 12Mbit/s。MPI 网络最多可以连接 32 个节点，最大通信距离（即两个相邻节点之间）为 50m，并可用中继器将通信距离最大延长至 1000m（OPI 通信时不超过 2000m）。

5. 2. 2 MPI 网络

1. MPI 网络结构

SINUMERIK 810D 系统 CCU 模块上的 X122 接口、SINUMERIK 840D 系统 NCU 模块上 X101 接口与 X122 接口、MCP 上 X20 接口（MCP 型号不同接口号码不同，如 PP031 为 X15 接口）、PCU20 上 X800 接口及 PCU50 上 MPI/DP 接口，均为遵循 RS485 物理接口标准（9 芯 D－Sub）的 MPI 通信接口（实质为 PG 接口，其引脚分布见表 5-7），并且这些 MPI 的连接节点在 MPI 网络（见图 5-18）中均有自己的 MPI 地址。MPI 地址的取值范围为 0～126，通常 SINUMERIK 810D/

840D 系统的 PCU/MMC 地址为 1、内置 S7－300 PLC 地址为 2、NCK 地址为 3 及外设 PG/PC 地址为 0。

表 5-7　SINUMERIK 系统中 MPI 接口（9 芯 D－Sub）**的引脚分布**

引脚	信号内容	引脚	信号内容
Pin1	空置	Pin6	DC5V 输出
Pin2	0V（DC24V）	Pin7	DC24V 输出
Pin3	差分 RS485 数据的传输	Pin8	差分 RS485 数据的传输
Pin4	请求发送的输出信号	Pin9	请求发送的输入信号
Pin5	0V（DC5V）		

注：接口号码不同，引脚的信号符号表示不同。

在 MPI 网络中，SINUMERIK 系统可同时与多个设备（如 PCU20/50、TP/OP 和智能型 ET200S 以及 RS485 中继器等网络元器件）建立通信联系，其 CPU 会自动广播 MPI 总线参数的组态（如波特率等）。另外，编程器通过 MPI 接口生成的网络可以访问所连接硬件站上的所有智能模块（如功能模块），并可自动检索正确的参数和连接至一个 MPI 子网，但它可同时连接的其他通信对象的数量取决于 CPU 的型号，如 CPU 314 与 CPU 316 的最大连接数分别为 4 和 64。

2. 用中继器扩展 MPI 网络的长度

MPI 网络的最大通信距离为 50m，为了满足现场设备层的远距离通信要求，有时需要通过 RS485 中继器来扩展 MPI 网络的长度。通常，扩展方式有以下两种：

1）两个站点之间没有其他站，如图 5-19 所示。MPI 站到中继器的距离最大为 50m，而两个中继器之间的距离最大为 1000m，且最多可连接 10 个中继器。由此两个站点之间的最大距离为 9100m。

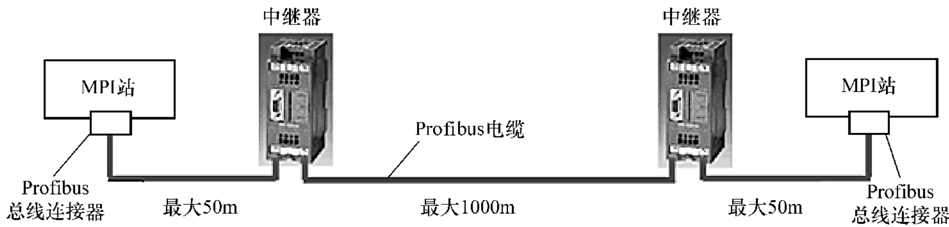


图 5-19　用 RS485 中继器扩展 MPI 网络的长度

2）若两个中继器之间存在 MPI 站，则每个中继器的网络扩展长度不能超过 50m。MPI 接口为 RS485 接口，需要使用带有终端电阻的 Profibus 总线连接器和 Profibus 电缆（见图 5-20）进行连接。若使用其他电缆和接头，则不能保证通信的质量和距离。在 MPI 网络上最多可以有 32 个站。当使用中继器扩展网络长度时，中继器也会占用节点数。Profibus 电缆与总线连接器的连接方法如图 5-21 所示。

5.2.3　外设计算机的 MPI 通信

SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统的 PLC 部分使用的是 SIMATIC S7－300，其编程调试软件为 Step7，通过外设 PC 和相应通信设备可对 S7－300 PLC 程序进行修改和传输（SINUMERIK 840Dsl 系统使用以太网进行通信），并对机床组件状态进行控制。外设 PC 侧常用 MPI 通信卡的类型与特点见表 5-8。

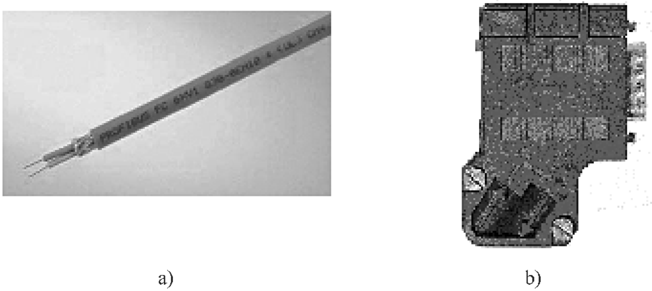


图 5-20 标准的 Profibus 电缆和总线连接器

a）Profibus 电缆 b）Profibus 总线连接器

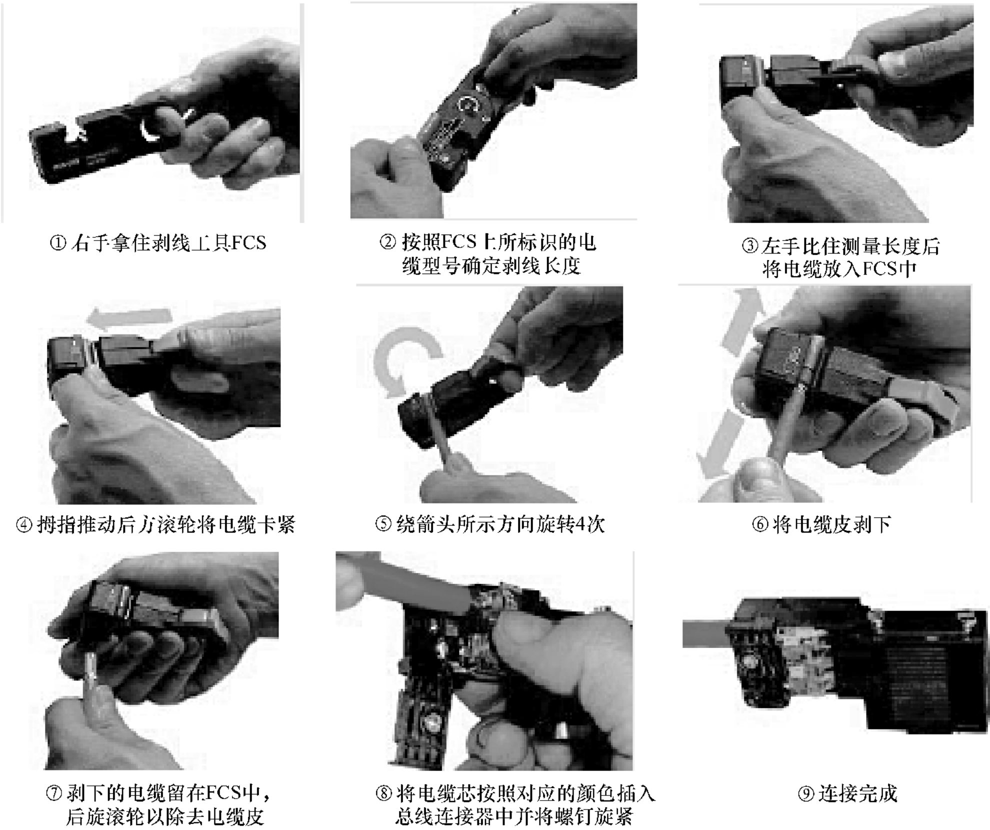


图 5-21 Profibus 电缆与总线连接器的连接

表 5-8 外设 PC 侧常用 MPI 通信卡的类型与特点

序号	PC 的类型	MPI 通信卡类型	所需附件	MPI 通信卡的特点
1	带 RS232/USB 接口的 PC	PC – Adapter（适配器）	RS232 通信电缆（USB 接口不用）	另一端接 CPU 的 MPI 接口；经 RS232 通信时，需外部 24V 供电。它不具备网络诊断功能，通信速率最高为 1.5Mbit/s，价格低廉

（续）

序号	PC的类型	MPI通信卡类型	所需附件	MPI通信卡的特点
2	笔记本计算机	CP5511 PCMCIA TypeⅡ卡	MPI电缆（6ES7 901－0BF00－0AA0）	此卡具有网络诊断功能，通信速率最高可达12Mbit/s，价格相对较高。在CP通信卡的代码中，数字5代表PCMCIA接口
3	笔记本计算机	CP5512 PCMCIA TypeⅡ CardBus（32位）卡	MPI电缆（6ES7 901－0BF00－0AA0）	此卡具有网络诊断功能，通信速率最高可达12Mbit/s，价格相对较高。在CP通信卡的代码中，数字5代表PCMCIA接口
4	台式计算机	CP5611 PCI卡	MPI电缆（6ES7 901－0BF00－0AA0）	此卡具有网络诊断功能，通信速率最高可达12Mbit/s，价格适中。在CP通信卡的代码中，数字6代表PCI总线
5	台式计算机	CP5613 PCI卡 （替代CP5412卡）	MPI电缆（6ES7 901－0BF00－0AA0）	此卡具有网络诊断功能，通信速率最高可达12Mbit/s，并带有处理器，可保持大数据量通信的稳定性；一般用于Profibus网络，同时具有MPI功能；此卡价格相对较高。在CP通信卡的代码中，数字3代表有处理器

1. PC－Adapter的安装和使用

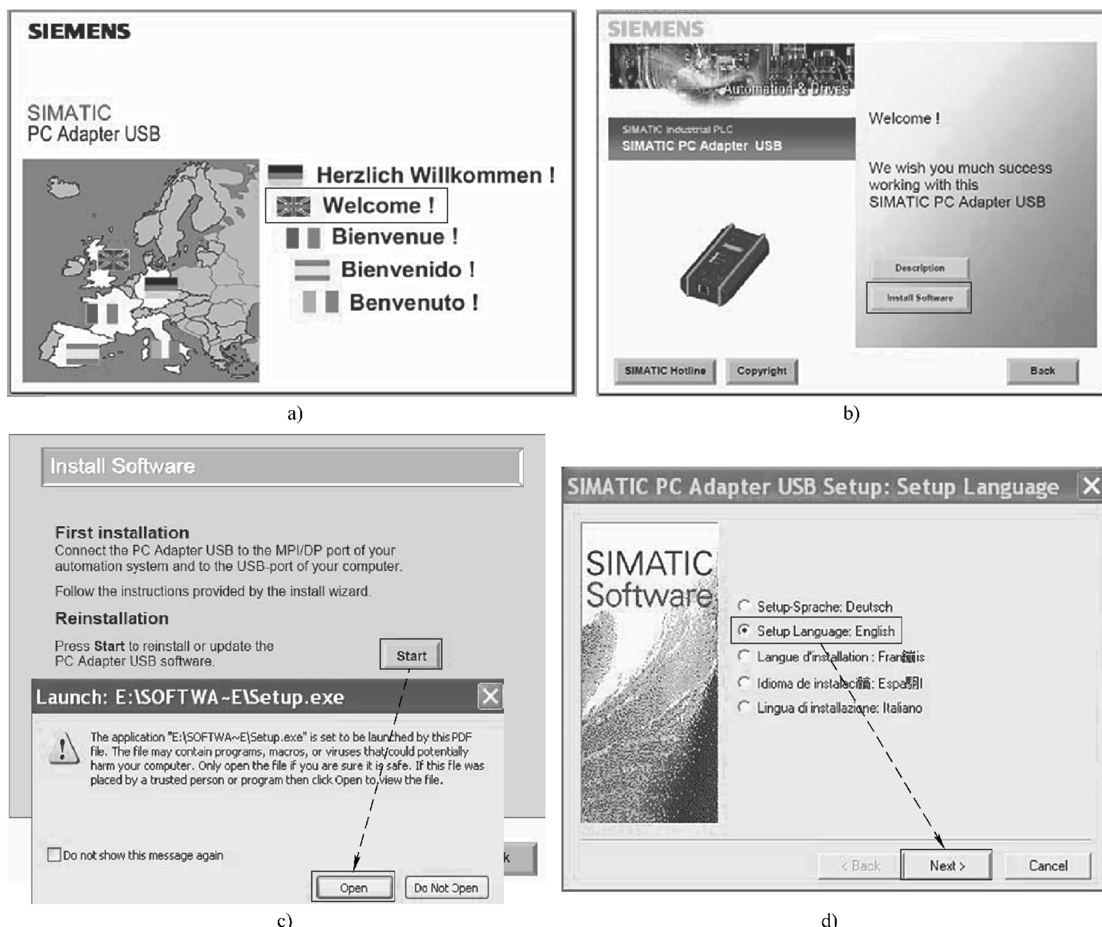
（1）PC－Adapter驱动程序的安装　USB接口的适配器带有相应的驱动光盘，而RS232接口的适配器无需驱动。若使用USB接口的适配器，则应在安装有Step7软件的PC上正确安装驱动程序。安装步骤为：打开驱动光盘上的文件后，打开Welcome文件并在所显示的画面（见图5-22）单击“Welcome”图标，根据提示依次单击［Install Software］、［Start］和［Open］按键，选择安装语言为英语，再依次单击［Next］按键直至安装结束，安装完成后重新启动PC。将PC－Adapter插在PC的USB接口上，PC会自动完成USB驱动的创建。

（2）RS232 PC－Adapter的使用

1）PC－Adapter与PC和PLC的硬件连接：先将PC－Adapter电缆的RS232接口与PC的串口相连，再将其MPI/DP接口与CCU模块（SINUMERIK 810D）的X122接口或NCU模块（SINUMERIK 840D）的X101/X122接口（X101和X122对应的MPI地址分别为13和2）相连。设置PC－Adapter的波特率拨码开关（位于指示灯的下方）后，CCU/NCU模块上电启动。此时PC－Adapter的Power灯闪烁，待与Step7建立通信后，Power灯常亮而Active灯快闪。

2）PC－Adapter在Step7软件中的选择和设置：在PC的桌面上双击“SIMATIC Manager”图标，打开Step7软件并单击“Options”下拉菜单内的“Set PG/PC Interface”项，进入PG/PC接口设置画面（见图5-23a）。

① 方法一：当选择与CCU/NCU模块的MPI接口连接时，应在PG/PC接口设置画面中选择“PC Adapter（MPI）”，使应用程序访问点为S7ONLINE（Step7）－－>PC－Adapter（MPI）。单击［Properties］键进入MPI接口和串口的属性设置画面。在图5-23b所示的画面内，先用“√”选中［PG/PC is the only master on the bus］项以确认PC为唯一的主站，再分别选择PC与PLC的MPI地址为0和2以及MPI接口通信波特率为187.5kbit/s（OPI通信为1.5Mbit/s且一定要与CCU/NCU模块上MPI接口的实际波特率一致），然后单击［Local Connection］键进入串口的属性设置画面。在图5-23c所示画面内，选择与PC相连的COM口，设定与PC－Adapter一致的串口波特率（否则Step7提示错误信号——适配器可能被损坏）。设置完毕后单击2次［OK］键，



a) b) c) d)

图 5-22 适配器（USB 接口）驱动程序的安装过程

a）单击“Welcome”图标 b）单击［Install Software］按键

c）依次单击［Start］和［Open］按键 d）选择安装语言后单击［Next］按键并完成安装

Step7 出现图 5-23d 所示的提示信息，单击［OK］键完成 PG/PC 接口的设置。此时，外设 PC 与 CCU/NCU 模块建立起通信，正常通信时 PC – Adapter 的 Power 灯常亮而 Active 灯快闪。

② 方法二：当选择与 CCU/NCU 模块的 Profibus 接口（X102）连接时，应在 PG/PC 接口设置画面中选择“PC Adapter（Profibus）”，使应用程序访问点为 S7ONLINE（Step7） – – > PC – Adapter（Profibus），随后单击［Properties］键进入 Profibus 接口和串口的属性设置画面（见图 5-24）。在此画面内，先用“√”选中［PG/PC is the only master on the bus］项以确认 PC 为唯一的主站，再选择 PC 地址为 0 及 Profibus 接口通信波特率为 1.5Mbit/s（一定要与 CCU/NCU 模块上 Profibus 接口的实际波特率一致）。后续参数设置及正常通信后 PC – Adapter 的状态，与 MPI 接口方式时完全相同。

③ 当 PC – Adapter 在 CCU/NCU 模块上所连的接口处于未知状态时，无法遵照 MPI 或 Profibus 接口方式的设置进行波特率的设定。为此，可在 PG/PC 接口设置画面中选择“PC Adapter（Auto）”使应用程序访问点为 S7ONLINE（Step7） – – > PC – Adapter（Auto）。再依次单击［Properties］和［Local Connection］键进入串口的属性设置画面，选择与 PC 相连的 COM 口，设定与 PC – Adapter 一致的串口波特率。随后依次单击［Automatic Bus Profile Detection］和［Start

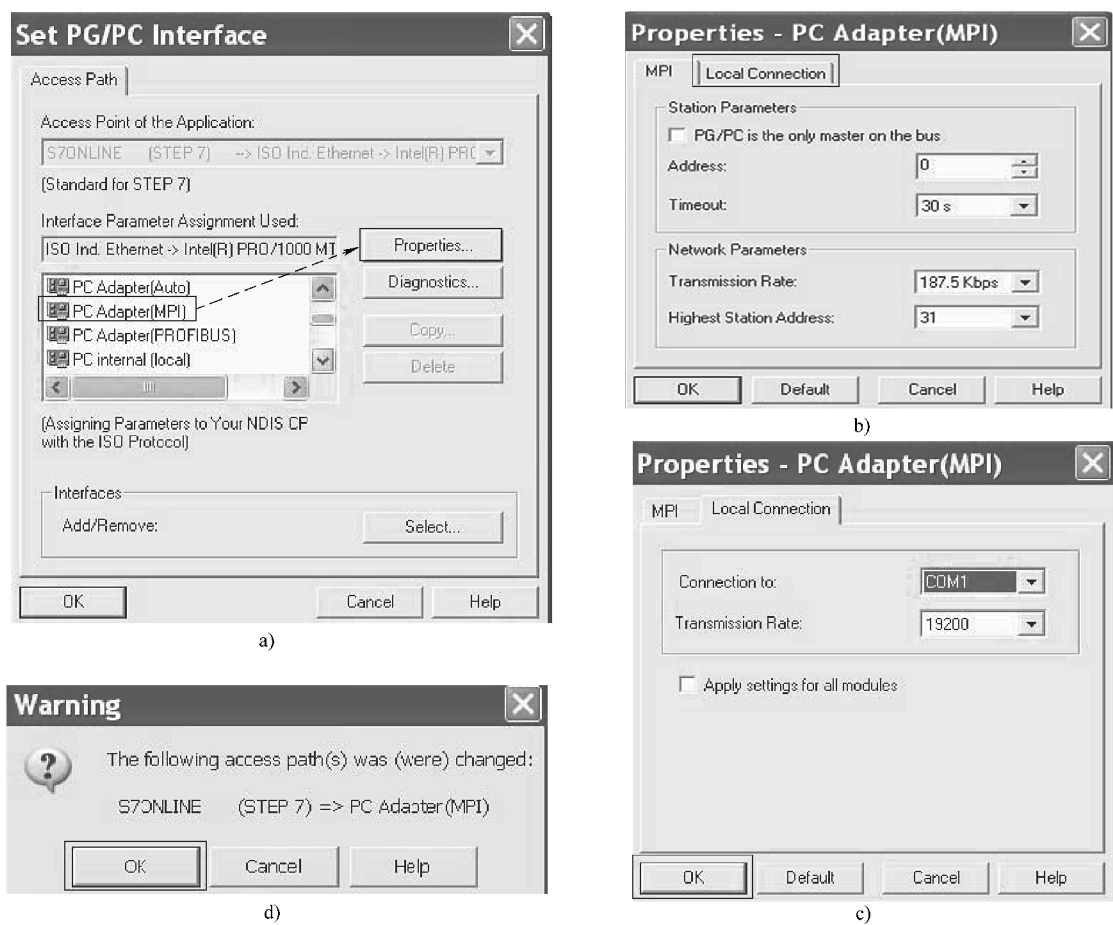


图 5-23　RS232 PC – Adapter 在 Step7 软件中的选择和设置（MPI 接口）

a）Step7 软件的 PG/PC 接口设置画面　b）MPI 接口的属性设置画面

c）串口的属性设置画面　d）PG/PC 接口设置提示画面

Network Detection］键，使 Step7 软件自动检测 PC – Adapter 所连接口的设置（见图 5-25）。此时，可根据检测获取的波特率，参照上述两种方法设置接口实现与 CCU/NCU 模块的通信，也可直接使用“PC Adapter（Auto）”方式进行通信。

（3）USB PC – Adapter 的使用

1）PC – Adapter 与 PC 和 PLC 的硬件连接：先将 PC – Adapter 电缆的 USB 接口与计算机的 USB 接口相连，再将其 MPI/DP 接口与 CCU/NCU 模块上对应的接口相连，随后 CCU/NCU 模块上电启动。此时 PC – Adapter 的 MPI/Power/USB 灯常亮，待与 Step7 建立通信后 Power 灯常亮，MPI 灯快闪，USB 灯慢闪。

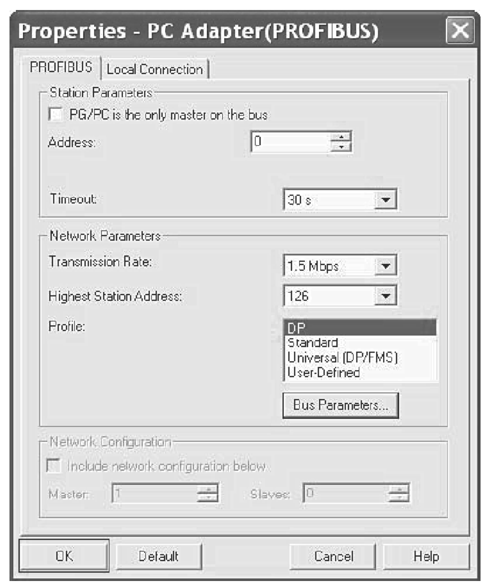


图 5-24　PC – Adapter（Profibus）接口的属性设置画面

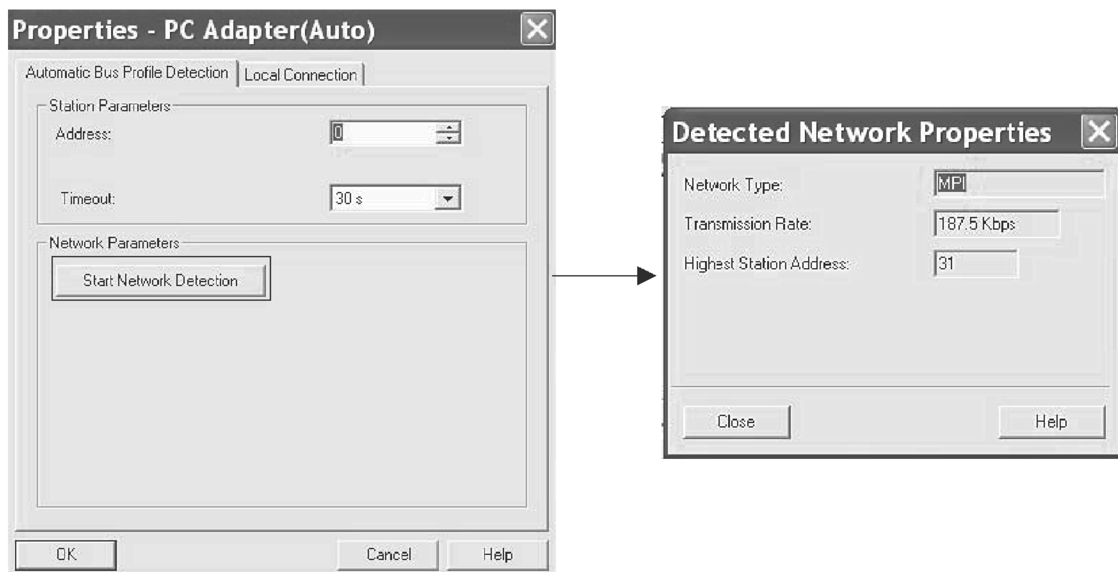


图 5-25　自动检测 PC－Adapter 所连接口的设置画面

2）PC－Adapter 在 Step7 软件中的选择和设置：USB PC－Adapter 的选择和设置与 RS232 PC－Adapter 的基本相同，只是单击［Local Connection］键所显示的 PC－Adapter（USB）属性设置画面略有不同：连接端口为 USB 且无需设置波特率，如图 5-26 所示。

2. CP5511/CP5512 的安装和使用

CP5511 与 CP5512 的操作步骤相同，下面以 CP5512 卡（CP5512 卡型号为 1P6GK1551－2AA00，HW 适配器型号为 1PC79459－A1890－A10，MPI 电缆型号为 6ES7 901－0BF00－0AA0，见图 5-27）为例进行介绍。

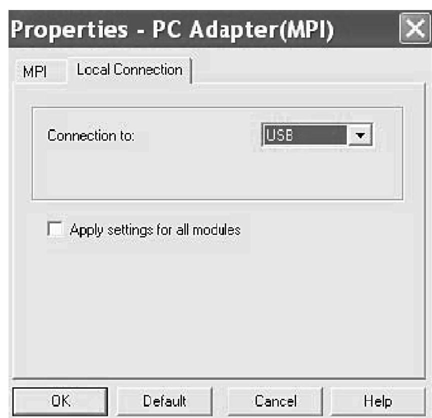


图 5-26　PC－Adapter（USB）的属性设置画面



图 5-27　CP5512 卡及通信电缆

1）CP5512 硬件和软件的安装（见图 5-28）：

① 将 CP5512 卡插入笔记本计算机的 PCMCIA 插槽内，计算机系统自动找到新硬件，显示图 5-28a 所示的画面，单击［Next］键以自动安装软件。根据图 5-28b 所示画面的提示，单击［Next］键继续软件的安装。待安装完成后单击［Finish］键，CP5512 可以正常使用。

② 在 PC 的桌面上双击“SIMATIC Manager”图标，打开 Step7 软件并单击“Options”下拉

菜单内的“Set PG/PC Interface”项，进入 PG/PC 接口设置画面（见图 5-28c）以选择 CP5512 的接口类型。单击［Select］键进入接口添加/删除界面（见图 5-28d）后，可看到 CP5512 已安装。

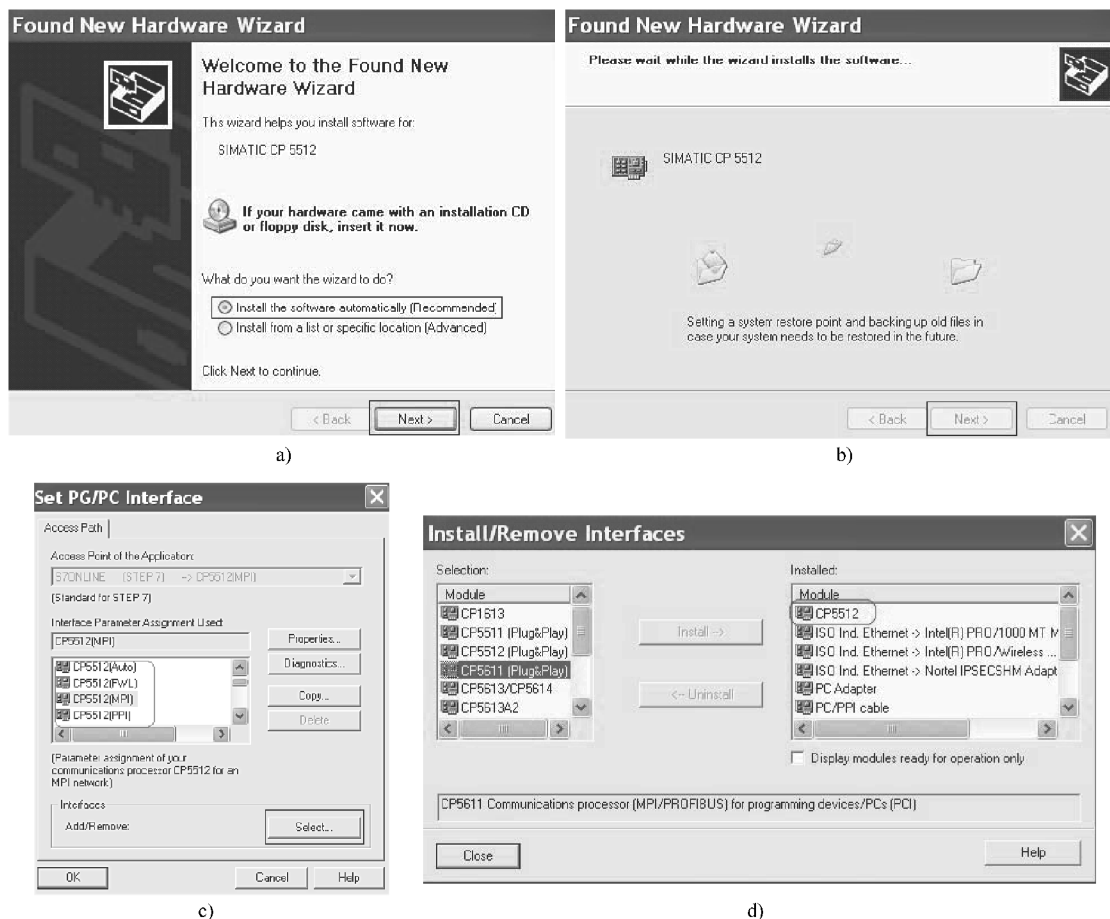


图 5-28　CP5512 硬件和软件的安装过程

a）发现新硬件画面　b）CP5512 软件自动安装画面　c）PG/PC 接口设置画面　d）接口添加/删除画面

2）CP5512 的硬件自检：正确安装 CP5512 卡后，可利用 Step7 软件进行检测，以查看 CP5512 能否正常使用，具体操作方法如下：

① 在图 5-28c 所示的 PG/PC 接口设置画面内，选择接口类型“CP5512（MPI）”或“CP5512（Profibus）”并单击［Diagnostics］诊断键，选择“Profibus/MPI Network Diagnostics”项并单击［Test］测试键。若 CP5512 能正常使用，则测试完成并显示图 5-29a 所示画面；若 CP5512 不能正常使用，则会有错误信息显示，如图 5-29b 所示。

② 若网络测试显示“Error 0x031a”错误信息，则可在图 5-28c 所示的 PG/PC 接口设置画面内单击［Properties］键，用“√”选中［PG/PC is the only master on the bus］项以确认 PC 为唯一的主站（见图 5-30a），然后再返回诊断测试画面（见图 5-29a）进行 CP5512 的测试。除此之外，还可对 CP5512 做硬件测试，在诊断测试画面内选择“Hardware”项并单击［Test］测试键，若 CP5512 与计算机的其他硬件资源无冲突，则测试完成并显示图 5-30b 所示画面。

③ 当网络测试和硬件测试均正常时，CP5512 即可正常使用。

3）CP5512 在 Step7 软件中的选择和设置：在 PC 的桌面上双击“SIMATIC Manager”图标，打开 Step7 软件并单击“Options”下拉菜单内的“Set PG/PC Interface”项，进入图 5-28c 所示的

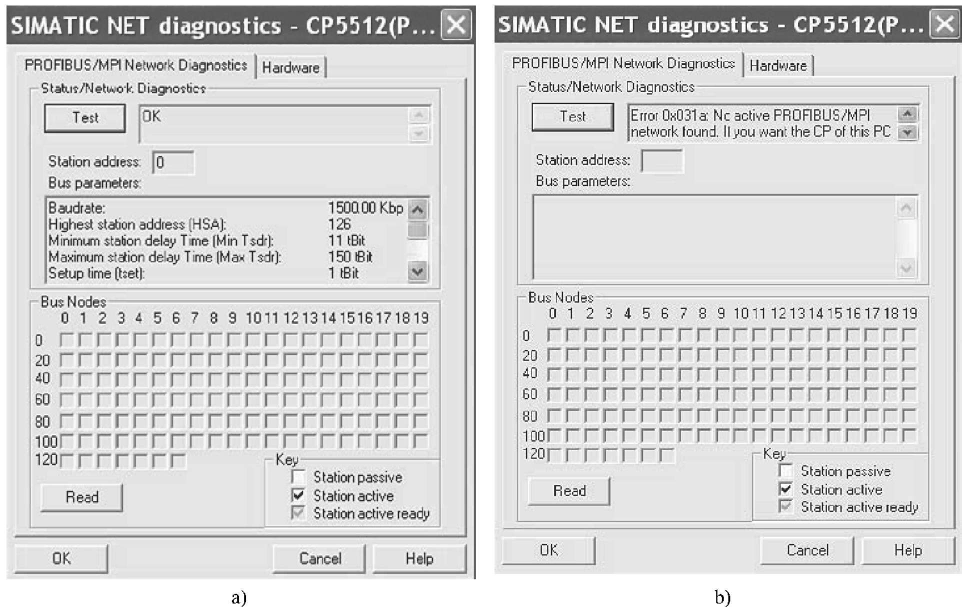


图 5-29 CP5512 的诊断测试画面

a）CP5512 网络测试正常 b）CP5512 网络测试不正常

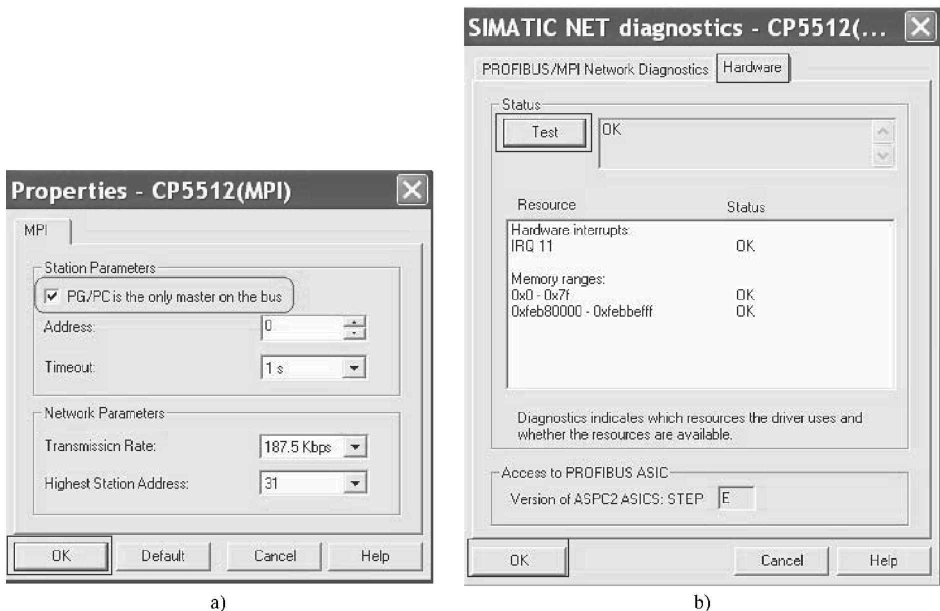


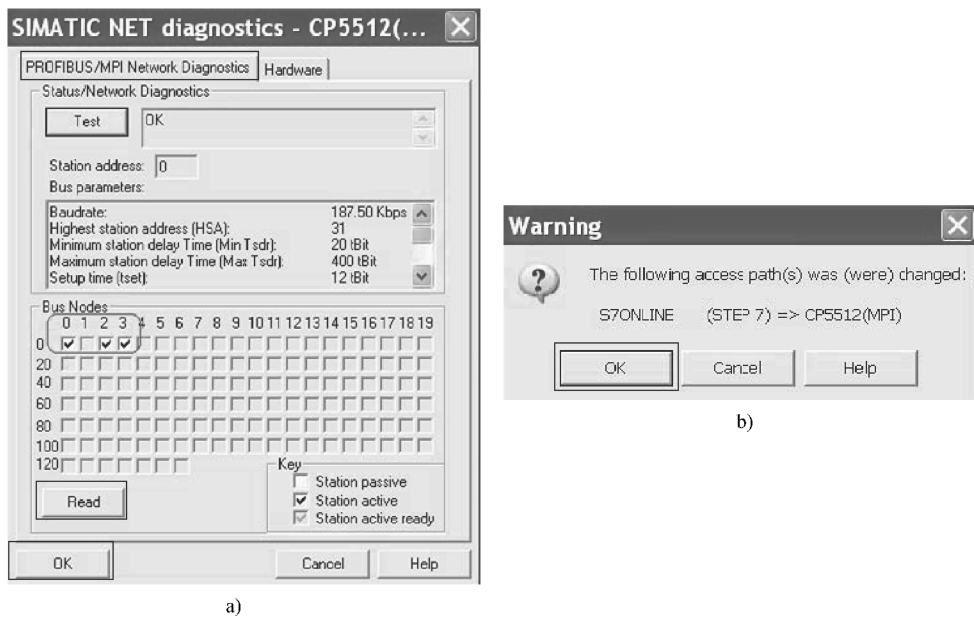
图 5-30 CP5512 出现“Error 0x031a”错误信息的处理

a）CP5512（MPI）的属性设置画面 b）CP5512 的硬件测试画面

PG/PC 接口设置画面。

① 方法一：当选择与 CCU/NCU 模块的 MPI 接口连接时，在 PG/PC 接口设置画面中选择“CP5512（MPI）”，使应用程序访问点为 S7ONLINE（Step7）→CP5512（MPI）。单击［Properties］键进入 MPI 接口属性设置画面。在图 5-30a 所示的画面内，先用“√”选中［PG/PC is the only master on the bus］项以确认 PC 为唯一的主站，再选择 PC 地址为 0 及 MPI 接口通信波特率

为187.5kbit/s。使用MPI电缆或Profibus电缆将CCU/NCU模块与CP5512连接好后，单击［Diagnostics］诊断键，选择“Profibus/MPI Network Diagnostics”项并单击［Read］读取键，即可显示网络上的站点（见图5-31a）。设置完毕后单击2次［OK］键，Step7出现图5-31b所示的提示信息，单击［OK］键完成PG/PC接口的设置。此时，外设PC与CCU/NCU模块建立起通信。



a) b)

图5-31 CP5512在Step7软件中的选择和设置（MPI接口）
a）CP5512（MPI）诊断测试画面 b）CP5512（MPI）接口设置提示画面

② 方法二：当选择与CCU/NCU模块的Profibus接口（X102）连接时，在PG/PC接口设置画面中选择“CP5512（Profibus）”，使应用程序访问点为S7ONLINE（Step7）→CP5512（Profibus）。单击［Properties］键进入Profibus接口属性设置画面（见图5-32）。在此画面内，先用“√”选中［PG/PC is the only master on the bus］项以确认PC为唯一的主站，再选择PC地址为0及Profibus接口通信波特率为1.5Mbit/s。诊断测试和读取网络上站点的方法与MPI接口方式相同。待设置完毕后单击2次［OK］键，Step7出现与图5-31b类似的提示信息，然后单击［OK］键完成PG/PC接口的设置。此时，外设PC与CCU/NCU模块建立起通信。

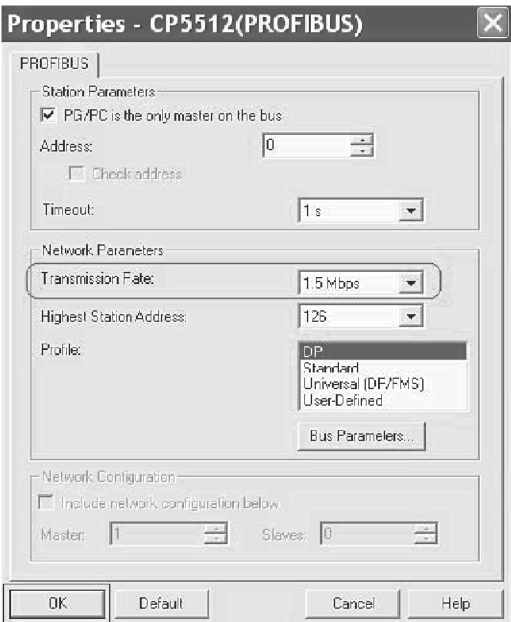


图5-32 CP5512（Profibus）的属性设置画面

③ 当CP5512在CCU/NCU模块上所连的接口处于未知状态时，无法遵照MPI或Profibus接口方式的设置进行波特率的设定。为此，可在PG/PC接口设置画面中选择“CP5512（Auto）”，使应用程序访问点为S7ONLINE（Step7）→CP5512（Auto）。再依次单击［Properties］和［Start Network Detection］键，使Step7软件自动检

测 CP5512 所连接口的设置（见图 5-33）。此时，可根据检测获取的波特率，参照 CP5512 的方法一和方法二实现与 CCU/NCU 模块的通信，也可直接使用“CP5512（Auto）”方式进行通信。

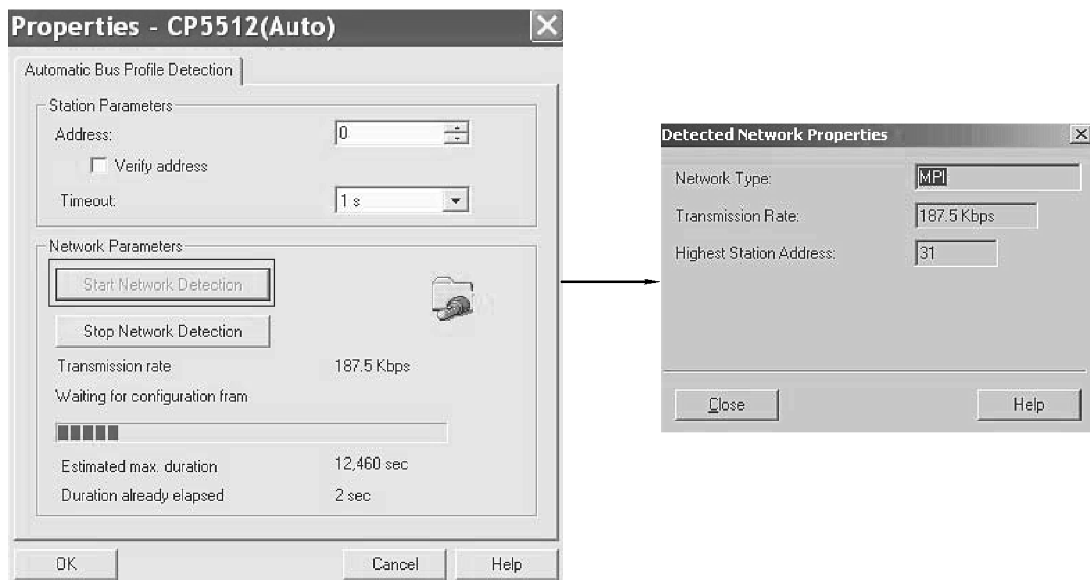


图 5-33 自动检测 CP5512 所连接口的设置画面

5.3 Profibus 通信技术及应用

在 SINUMERIK 802D 系统中，PCU 面板（X4 接口）通过 Profibus 现场总线电缆与 PP72/48 模块（X2 接口）和 SIMODRIVE 611UE 驱动系统（X423 接口）实现通信连接；在 SINUMERIK 802Dsl 系统中，PCU 面板（X6 接口）通过 Porfibus 现场总线电缆与 PP72/48 模块（X2 接口）和 ADI4 模块（X2 接口）实现通信连接；在 SINUMERIK 810D 系统中，CCU 模块（X102 接口）通过 Profibus 现场总线电缆可与多台 CNC 实现网络通信；在 SINUMERIK 840D 系统中，NCU 模块（X102 接口）通过 Profibus 现场总线电缆与远程设备 ET200 等通信模块实现通信连接；在 SINUMERIK 840Dsl 系统中，NCU 模块通过 Profibus 现场总线电缆与 PP72/48 模块、ET200M、ET200S 或 ET200Pro 等实现通信连接。

5.3.1 Profibus 通信简介

Profibus 是不依赖生产厂家的开放式现场总线，各种各样的自动化设备均可通过同样的接口实现现场设备层与车间监控层的中小批量数据通信。Profibus 以独特的技术特点、严格的认证规范、开放的标准和众多厂商的支持而被纳入现场总线的国际标准 IEC 61158 中（见表 5-9），并在 2006 年 10 月成为我国首个现场总线国家标准（GB/T 20540—2006）。

1. Profibus 的协议结构

Profibus 的协议结构是根据 ISO 7498 国际标准，以开放式系统互联网络（即 OSI）作为参考模型的。OSI 模型共有 7 层，自第 1 层至第 7 层（自低至高）分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层（见表 5-10）。其中，第 1 层至第 4 层是面向网络的，用来描述数据怎样从一个地方传输到另一个地方；第 5 层至第 7 层是面向用户的，为用户提供适当的方式去访问网络系统。然而 Profibus 仅使用了 ISO/OSI 的第 1 层、第 2 层和第 7 层，并外加一

个用户接口层。如此，不仅大大简化了协议结构，提高了数据传输的效率，还符合工业自动化实时性高、数据量小等特点的要求。Profibus 的协议结构如图 5-34 所示。

表 5-9　IEC 61158 第 4 版的现场总线类型

类型	技术名称	类型	技术名称
类型 1	TS61158 现场总线	类型 11	TC NET 实时以太网
类型 2	CIP 现场总线	类型 12	Ether CAT 实时以太网
类型 3	Profibus 现场总线	类型 13	Ethernet Powerlink 实时以太网
类型 4	P－Net 现场总线	类型 14	EPA 实时以太网
类型 5	FF HSE 高速以太网	类型 15	Modbus RTPS 实时以太网
类型 6	SwiftNET（已被撤销）	类型 16	SERCOS Ⅰ、Ⅱ现场总线
类型 7	WorldFIP 现场总线	类型 17	VNET/IP 实时以太网
类型 8	Interbus 现场总线	类型 18	CC－Link 现场总线
类型 9	FF H1 现场总线	类型 19	SERCOS Ⅲ实时以太网
类型 10	ProfiNET 实时以太网	类型 20	HART 现场总线

表 5-10　ISO/OSI 模型的层次与主要功能

层次	名称	主 要 功 能
第 7 层	应用层	OSI 的最高层，为用户的应用服务提供信息交换，为应用接口提供操作标准
第 6 层	表示层	用于应用层信息内容的形式变换，如数据加密/解密、信息压缩/解压和数据兼容，把应用层提供的信息变成能够共同理解的形式
第 5 层	会话层	支持通信管理和实现最终用户应用进程之间的同步，按正确的顺序收发数据和进行各种对话
第 4 层	传输层	以报文（Message）为信息传送单位向上一层提供一个可靠的端到端的数据传送服务，主要用于流量控制、差错控制和连接支持
第 3 层	网络层	用于报文包的分段、报文包阻塞处理和通信子网中路径的选择
第 2 层	数据链路层	该层的数据是以帧（Frame）为单位传送的，每一帧包含一定数量的数据和必要的控制信息，如同步信息、地址信息和流量控制信息。通过校验、确认和要求重发等方法，在两个相邻节点间的链路上实现差错控制、数据成帧和同步控制等
第 1 层	物理层	为用户提供建立、保持和断开物理连接的功能，定义了传输媒体接口的机械、电气的功能和规程的特性，该层的下面是屏蔽双绞线、同轴电缆或光纤等物理媒体（又称物理传输介质）

2. Profibus 的通信行规

根据应用特点和用户不同的需要，Profibus 提供了三种兼容版本的通信行规，即 Profibus－DP、Profibus－PA 和 Profibus－FMS。

1）Profibus－DP：DP 是 Decentralized Periphery（分布式外围设备）的缩写。它主要用于制造业自动化系统中单元级和现场级通信，尤其适合于 PLC（SINUMERIK 系统的 PLC 为内装型）与现场级分布式 I/O 设备之间的通信（见图 5-35）。因 Profibus－DP 仅使用了第 1 层（物理层）、第 2 层（数据链路层）和用户接口层，从而使得网络结构趋于精简及数据传输高速可靠。目前，Profibus－DP 已成为 Profibus 中应用最广的一种通信方式。

	Profibus-DP	Profibus-FMS	Profibus-PA
第8层(用户接口层)	DP设备行规	FMS设备行规	PA设备行规
	基本功能与扩展功能		基本功能与扩展功能
	DP用户接口	应用层接口ALI	DP用户接口
	直接数据链路映象DDLM		直接数据链路映象DDLM
第7层(应用层) 第3～6层	↕	现场总线报文规范FMS 未使用	↕
第2层(数据链路层)	现场总线数据链路FDL		IEC接口
第1层(物理层)	RS-485/光纤		IEC 1158-2

图 5-34　Profibus 的协议结构

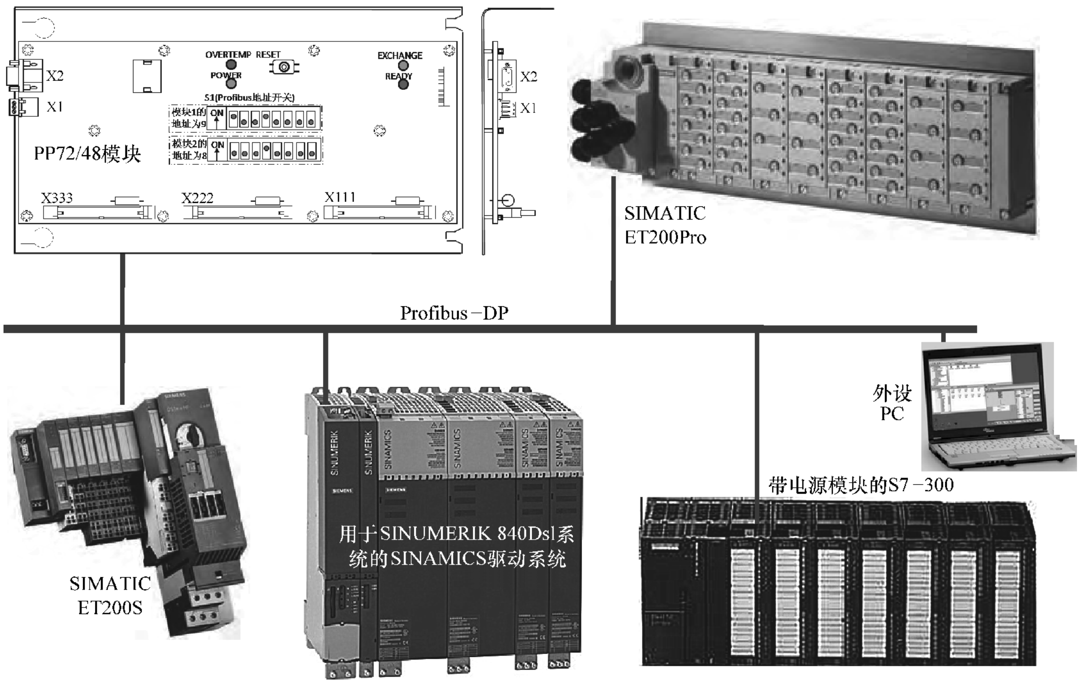


图 5-35　Profibus-DP 通信网络

① Profibus-DP 的物理层：Profibus-DP 利用屏蔽双绞线或光纤等物理传输介质，采取半双工异步通信方式（即仅有 1 对平衡差分信号线，不能同时发送和接收信号）的 RS485 协议，以 9.6kbit/s～12Mbit/s 的可选传输速率为数据链路层提供物理连接，进而在 100～1200m 的通信距离内透明地传送比特流。

② Profibus-DP 的数据链路层：该层主要是通过数据链路层协议，在不可靠的物理链路上实现可靠的数据传输。该层的协议媒体访问控制（MAC）部分采取受控访问的令牌总线和主从方式（见图 5-36），其中主站间数据传输为令牌总线方式（即令牌在总线上的各主站间传递，持有令牌的主站获得总线控制权后，该主站依照关系表与从站或其他主站进行通信），主站与从站之间的周期性数据传输为主从方式（即主站向从站发送或索取信息）。

③ Profibus-DP 的用户接口层：该层为 Profibus-DP 网络自行定义的一层，它主要定义了 DP 的功能、行规及扩展功能。

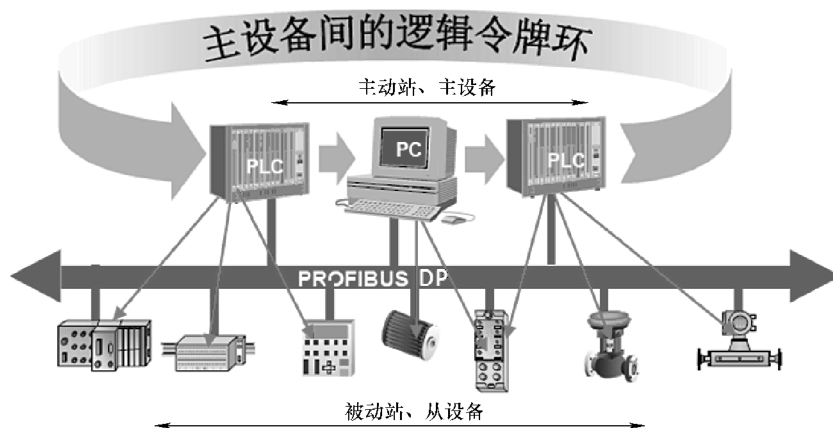


图5-36　Profibus－DP的总线访问方式

2）Profibus－PA：PA是Process Automation（过程自动化）的缩写，它主要用于面向过程自动化系统中单元级和现场级通信，如制造业、流程工业、物流管理或楼宇自动化等。由于Profibus－PA基于采用IEC 1158－2标准的MBP传输技术（可确保本质安全并经屏蔽双绞线电缆进行数据通信和现场设备供电的并行传输），故还可用于防爆区域的传感器和执行器与中央控制系统的通信。Profibus－PA采用Profibus－DP的基本功能来传送测量值和状态，并用扩展的Profibus－DP功能来制定现场设备的参数以及进行设备操作。Profibus－PA行规对所有通用的测量变送器以及变送器（压力、液位、温度和流量）、数字量输入/输出、模拟量输入/输出、阀门和定位器等设备给予了具体的规定，以保证不同厂商生产的现场设备具备较强的互换性和互操作性。通过Profibus－DP/PA链接器，可将Profibus－PA方便地集成到Profibus－DP网络中，且每个DP/PA链接器在危险区域和非危险区域可连接的现场设备分别不超过15个和31个。

3）Profibus－FMS：FMS是Field Message Specification（现场总线报文规范）的缩写，它主要用于自动化系统中系统级和车间级的不同供应商自动化系统之间的数据传输，可处理单元级（PLC和PC）的多主站数据通信。Profibus－FMS定义了主站与主站之间的通信模型，使用ISO/OSI模型的第1层（物理层）、第2层（数据链路层）和第7层（应用层），其中第7层包括现场总线报文规范和底层接口LLI。目前，随着现场总线应用领域的不断扩大，Profibus－FMS行规目前已不再使用。

5.3.2　Profibus－DP网络硬件

在SINUMERIK系统中，Profibus－DP网络涉及的硬件有Profibus－DP接口、传输介质、Profibus插头和终端电阻等。

1．Profibus－DP接口

Profibus－DP接口属于RS485串口，CPU（如SINUMERIK系统的CCU/NCU模块等）或CP板卡一般都采用D－Sub female接口，其引脚定义见表5-11。该接口外部的金属部分多连接至CPU或CP板卡的内部PE。当CPU安装在底板上时，因PE与底板连通而只需将底板在电气柜内作接地处理即可。

2．传输介质

Profibus－DP网络不仅支持RS485的电缆和光纤两种有线通信介质，还支持无线通信设备；但目前仍以有线介质为主。在SINUMERIK系统中主要使用标准型Profibus－DP电缆。

表 5-11 Profibus – DP 总线接口及引脚定义

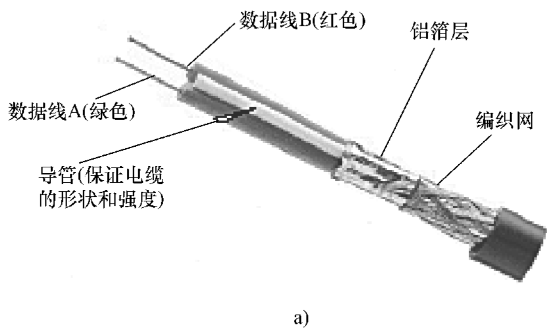
引脚	信 号 内 容	说　　明	接口示意图
Pin1	Shield　　*	屏蔽或功能地	
Pin2	0V（DC24V）*	24V 辅助电源输出的地	
Pin3	B（RxD/TxD P）	接收/发送数据的正端，B 线	
Pin4	RTS（P）	方向控制信号正端	
Pin5	DGND	数据基准电位（地）	
Pin6	VP +　　　* *	供电电压（DC5V）正端	
Pin7	DC24V　　*	24V 辅助电源输出正端	
Pin8	A（RxD/TxD N）	接收/发送数据的负端，A 线	
Pin9	RTS（N）	方向控制信号负端	

注：* 表示信号可选；* * 为仅在终端站点需要时连接。

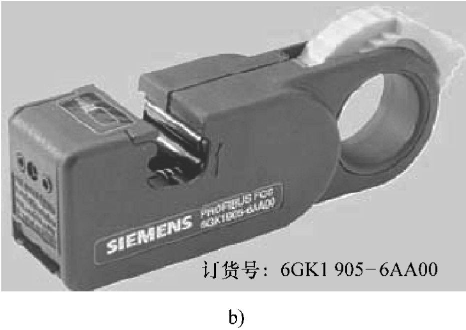
1）Profibus – DP 电缆：电缆形式分为屏蔽双绞线（A 型）和普通双绞线（B 型）两种（见表 5-12），A 型因屏蔽层可提高电磁兼容能力而使其扩展长度比 B 型要大。SINUMERIK 系统所用 Profibus 总线电缆为标准的屏蔽双绞线（A 型），电缆外皮为紫色，外部包裹有编织网和铝箔两层屏蔽，内有两根数据线（绿色 A 和红色 B），并分别连接 Profibus – DP 接口的 Pin3（B）和 Pin8（A）。除标准型 Profibus – DP 电缆（见图 5-37）外，还有许多用于特定环境中的特殊类型 Profibus 电缆，如 Hybrid 电缆、Food 电缆、Robust 电缆、Flexible 电缆、Trailing 电缆、Festoon 电缆、FRNC 电缆等。另外，Profibus – DP 电缆的长度与数据的传输速率有关（见表 5-13）。总体规律为传输速率越高，电缆长度越短，而且也越容易受到电磁干扰。

表 5-12 A、B 型 Profibus – DP 电缆的性能参数

序号	参 数 明 细	A 型电缆	B 型电缆
1	特征阻抗/Ω	135 ~ 165（f = 3 ~ 20MHz）	100 ~ 130（f > 100MHz）
2	单位长度的电容/（pF/m）	< 30	< 60
3	回路电阻/（Ω/km）	≤110	—
4	线芯截面积/mm^2	≥0. 34	≥0. 22



a)



b)

图 5-37 标准型 Profibus – DP 电缆及其快速剥线工具 FCS

a）标准型 Profibus – DP 电缆 b）快速剥线工具 FCS

表 5-13　不同传输速率对应的 Profibus – DP 电缆长度

传输速率/（kbit/s）	9.6 ~ 93.75	187.5	500	1500	3000 ~ 12000
A 型电缆长度/m	1200	1000	400	200	100
B 型电缆长度/m	1200	600	200	70	不推荐
Profibus – DP 网络内分支电缆长度/m	500（9.6kbit/s）	33	20	6.6	100（97.75kbit/s）

注：该理论长度为不使用中继器时的长度。

2）Profibus 光纤：光纤主要有塑性光纤、PCF 光纤和玻璃纤维光纤三种（性能参数见表 5-14，结构示意图见图 5-38），它们不仅可以满足长距离数据的传输要求，并可保持较高的传输速率，还可以屏蔽强电磁干扰环境中的干扰信号。随着光纤连接技术（如专用总线插头来转换 RS485 信号和光纤导体信号）的不断发展和日趋简化，光纤传送数据的传输技术正被逐渐广泛地应用于现场设备的数据通信中。

表 5-14　Profibus 光纤的性能参数

序号	参数明细	塑性光纤（双工）	PCF 光纤	玻璃纤维光纤	
				标准光纤	户内光纤
1	节点间光纤的长度/m	50（OLM – OLM）	400（OLM – OLM）	4000（不带 BFOC 连接器）	100
		50（I/O 接口，OBT）	300（I/O 接口，OBT）	1000（带 BFOC 连接器）	
2	光纤直径/mm	0.98	0.2	3.5	2.9
3	光纤材料	聚甲基烯酸酯	石英	玻璃纤维	
4	光纤芯数	2	2	2	2
5	每千米重量/kg	7.8	22	74	30

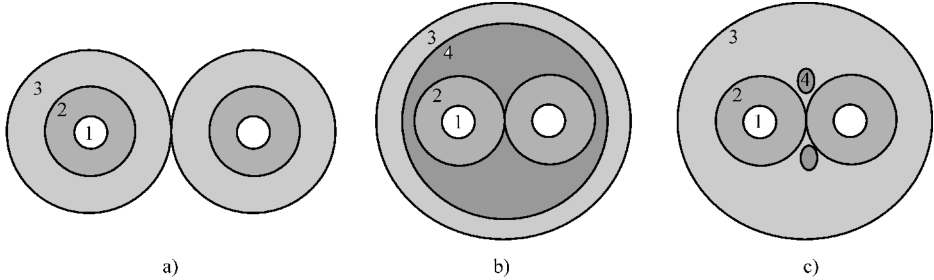


图 5-38　Profibus 光纤的结构示意图
a）双工塑性光纤　b）标准 PCF 光纤　c）标准玻璃纤维光纤
1—光纤束　2—光纤包层　3—光纤护套　4—抗应力纤维

3. Profibus 插头

不管 Profibus 插头是否带有编程口，它均是用来连接 Profibus 电缆和 Profibus 站点的。每个 Profibus 插头包含 1 个进线孔（In）和 1 个出线孔（Out），分别连接至前一个 Profibus 站点和后一个 Profibus 站点。当各站点通过 Profibus 插头连接以及网线间互联时，依据 RS485 串口通信规范，每个物理网段可支持 32 个物理设备，且处于物理网段终端的站点应设置终端电阻，以防止浪涌，保证通信质量。终端电阻可分为 Profibus 插头内置终端电阻（自带）和有源终端电阻两种，其中

插头内置终端电阻需要根据 Profibus 通信的连接情况来进行接入（On）或切除（Off）。

1）仅有一组 Profibus 通信线与 Profibus 插头连接时，此种情况属于 Profibus 起始节点和终结节点的连接（如在 SINUMERIK 802Dsl 系统中 PCU 面板仅连接 1 块 PP72/48 模块），可分别将标准型 Profibus－DP 电缆中的绿色数据线接至 A1 口、红色数据线接至 B1 口，并将拨码开关置于接入（On）状态以使终端电阻连接有效，同时将 Profibus－DP 电缆中的屏蔽线与 Profibus 插头的金属片进行可靠连接。为了便于系统的诊断和维护，通常每个网段的起始节点和终结节点尽量使用带编程口的 Profibus 插头（见图 5-39a）。

2）有两组 Profibus 通信线与 Profibus 插头连接时，此种情况属于 Profibus 中间节点的连接（见图 5-39b），可分别将两组标准型 Profibus－DP 电缆中的绿色数据线接至 A1 口和 A2 口、红色数据线接至 B1 口和 B2 口，并将拨码开关置于切除（Off）状态以使终端电阻连接无效，同时将 Profibus－DP 电缆中的屏蔽线与 Profibus 插头的金属片进行可靠连接。

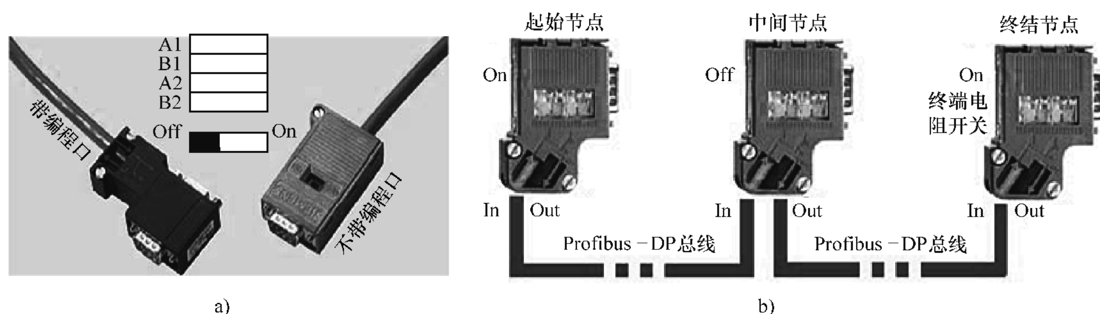


图 5-39 Profibus 插头及其连接与设置
a）Profibus 插头 b）Profibus 插头的连接与设置

4. 终端电阻

为了消除阻抗不连续或阻抗不匹配造成的信号反射，Profibus－DP 电缆的两端均应连接终端电阻。

1）阻抗不连续：当信号在 Profibus－DP 电缆末端突然遇到电缆阻抗很小甚至没有（如短路）或阻抗很大（如断路）时，信号就会在此处引起反射（与光反射相似）。为此，必须在 Profibus－DP 电缆的末端跨接一个与电缆特征阻抗相等的终端电阻，以使电缆的阻抗处于连续状态；又因总线电缆上的信号传输是双向的，故 Profibus－DP 电缆的另一端也应跨接一个同样阻值的终端电阻（见图 5-40）。

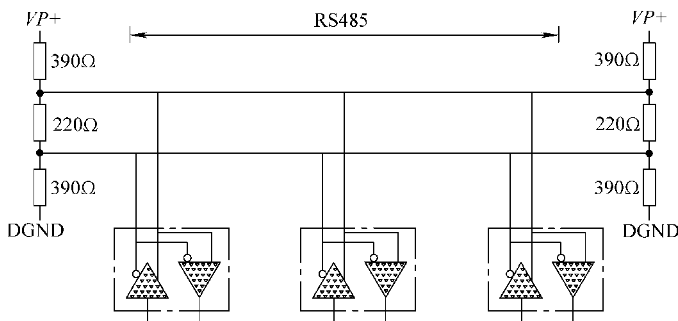


图 5-40 Profibus－DP 网络中的设备连接和终端电阻

2）阻抗不匹配：数据收发器与 Profibus－DP 电缆之间的阻抗不匹配也会引起信号的反射，主要表现为处于空闲状态的通信线路上的网络数据混乱。在 EIA RS485 标准中规定的端接电阻 R_f

是以下拉电阻 R_d（与数据地 DGND 连接）和上拉电阻 R_u（与正电压 *VP* 连接）作补充。当无站点进行数据传输（即空闲时间）时，该补充会迫使不同的状态电压（即导体间电压）趋于一个确定值（见图 5-41）。由于一个物理网段内终端阻抗与电缆阻抗的不匹配会使最大通信距离减半，因此，应保证该物理网段内网络的两个终端处均有一个终端电阻，以使阻抗相匹配，并保证网络的通信质量。终端电阻可分为 Profibus 插头内置终端电阻（自带）和有源终端电阻（见图 5-42）两种。其中，有源终端电阻可单独供电并安装在网段的两端，以保证网段内任何一个设备出现问题均不会影响网络的阻抗匹配。

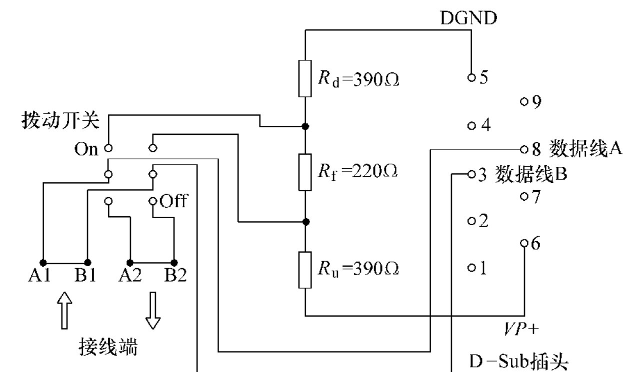


图 5-41　终端电阻的组成与连接



图 5-42　有源终端电阻

5.3.3　Profibus - DP 网络故障与现场诊断

虽然 Profibus 是一种抗干扰性比较强的现场总线，但在设备调试和使用过程中仍会发生一些故障，进而导致系统出现通信故障，最终影响设备的正常运行。据不完全数据统计，约 80% 的 Profibus 通信故障是由现场未接地处理、布线时未与动力电缆分开、通信线路破损、接头处进出线接反或存在干扰源等原因造成的。因此，调试/维修人员应在了解 Profibus 网络安装规范的基础上，使用 BT200 或示波器等仪器以及 Step7 软件进行现场诊断，以快速排除总线故障及恢复设备运转。

1. Profibus - DP 网络的安装规范

Profibus - DP 网络的安装规范包括网络拓扑规则和网络安装规则两方面内容。

1）Profibus - DP 网络拓扑规则。

① Profibus 网络为 RS485 串口通信，属于半双工异步通信方式，支持光纤通信。

② 每个网络理论上最多可连接 127 个物理站点，其中包括主站、从站及中继设备。

③ 网络的传输速率（波特率）为 9.6kbit/s ~ 12Mbit/s，网络内主支电缆和分支电缆（使用 SIMOCODE 3UF7 等产品时）上的数据传输距离（或 Profibus - DP 电缆的长度）均与传输速率有着一定的对应关系（见表 5-13）。总体规律为传输速率越高电缆长度越短，且越容易受到电磁干扰。由此，现场若遇到 Profibus 通信未连接或通信不稳定的故障时，可通过先降低通信波特率来观察故障是否消除。

④ 每个物理网段内最多有 32 个物理站点设备，物理网段的两个终端处均设置了终端电阻或使用有源终端电阻。

⑤ 每个网段的通信距离或物理站点设备数超限，则需串联 RS485 中继器（数量不超过 9 个）以拓展网络。

⑥ 每个中继设备（RS485 中继器，OLM）也是网络中的一个物理站点，但没有站号。

⑦ Profibus 网络支持多主站，但在同一网络中一般不多于 3 个主站。

⑧ Step7 软件组态 Profibus 网络时，应按照从小到大的连续顺序设置从站站号。

⑨ 一般外设 PG/PC 的地址为0，主站地址为1～2（如 SINUMERIK 系统内 PLC、NCK 的地址分别为2 和3），某些从站默认地址为126，广播地址为127，Profibus－DP 从站最多可连接124 个且站号一般为3～125。

2）Profibus－DP 网络安装规则。

① Profibus－DP 网络布线时，优先选用标准型 Profibus 双层屏蔽电缆（双绞线的特征阻抗为150Ω，刚好与 Profibus－DP 插头的终端电阻处于 On 状态时的阻抗相匹配），并将 Profibus－DP 插头内总线电缆的屏蔽层剥开（不可太长，以免暴露在空间内成为易受干扰的“天线”）后压接在插头内的金属部分（此部分与 D－Sub 插头外部的金属部分相连，见图 5-43）上，随后通过与 CCU/NCU 模块或安装底板（固定在良好接地的电气柜内）上 ET200M 等设备的 DP 口插接而实现屏蔽层的多点接地处理。

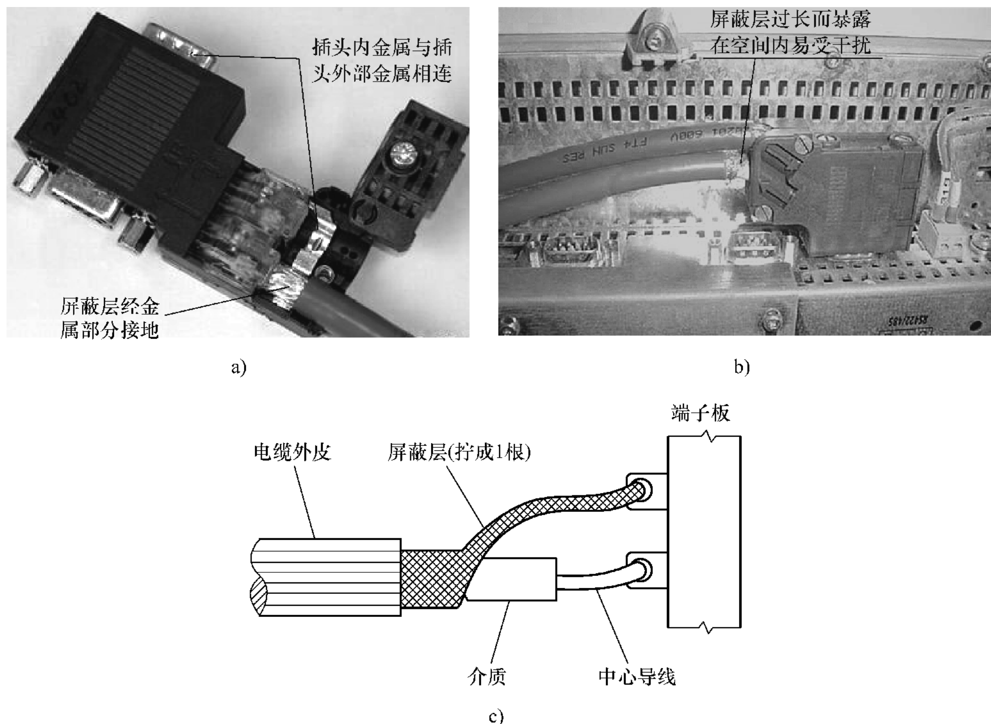


图 5-43　Profibus－DP 插头的屏蔽层处理

a）Profibus 插头内部屏蔽层　b）Profibus 插头外部屏蔽层　c）屏蔽电缆接头处的“猪尾巴效应”

② Profibus－DP 网络布线时，既要将不同电压等级的电缆（高电压大电流的动力电缆与低电压小电流的通信电缆）分线槽布置或在中间加装金属隔板以使两类电缆尽量远离，又要尽量避免通信电缆与动力电缆在线槽内长距离平行布线，以消除电缆间耦合电容的干扰影响；既要对线槽外的通信电缆采取穿入接地金属管内等方式进行保护，又要将通信电缆尽量贴近大面积的金属板；既要将过长的环状通信电缆剪短放入线槽内，以避免磁力线穿过环中间（遵循右手定律）而产生干扰信号，又要对所有通信站点通过等势线（铜 6mm^2、铝 16mm^2、钢 50mm^2）进行等电势连接，以保证通信质量（见图 5-44）。

2. Profibus－DP 网络的现场诊断

Profibus－DP 网络现场诊断常用的方法有：用设备上的 LED 进行诊断，用 BT200 进行硬件诊

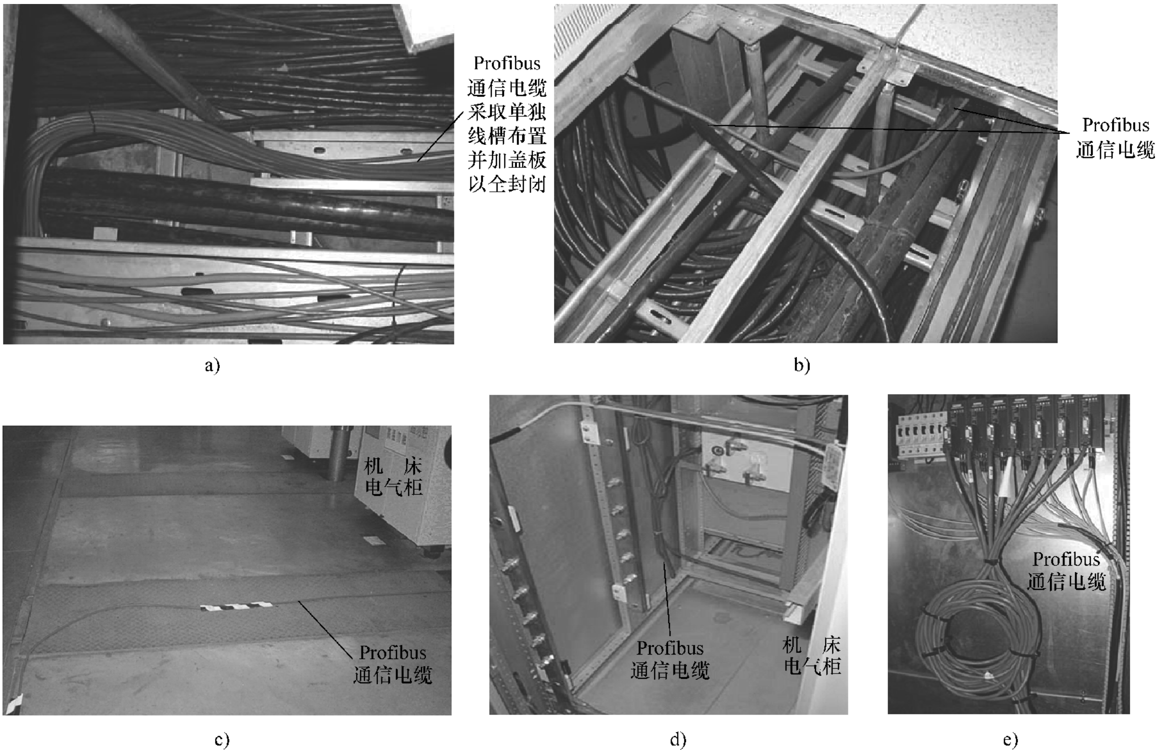


图 5-44　Profibus - DP 网络布线的实施方法

a）不同电压等级的电缆分线槽布置　b）通信电缆与动力电缆在线槽内平行布线　c）线槽外未采取防护措施的通信电缆　d）通信电缆贴近大面积金属板　e）过长的环状通信电缆应剪短

断与测试，用 Step7 软件进行网络诊断等。

1）用设备上的 LED 进行诊断：在 SINUMERIK 802D 系统 PCU 面板右上角的挡板内有一黄色指示灯 PB，用于表明 Profibus - DP 总线的状态。在 PP72/48 模块上不仅有一绿色指示灯 EXCHANGE，用于表明 PP72/48 模块已处于运行准备状态且与主站（PCU）进行 Profibus 数据交换，还有一红色指示灯 READY，用于表明 PP72/48 模块已处于运行准备状态但未与主站（PCU）进行 Profibus 通信连接。SINUMERIK 810D/840D 系统中的各信号模块 SM 必须经接口模块（IM）实现互联，在 IM361、IM151 - 1（ET200S）或 IM153 - 2（ET200M）等接口模块的前面板上有一组 LED 指示灯——红色 SF、红色 BF 和绿色 ON（IM 型号不同 LED 指示灯的数目及指示含义有所不同），分别用于组错误、总线故障和电源电压的指示（见表 5-15 和表 5-16）。在设备的安装调试和日常使用过程中，调试/维修人员可借助这些操作部件上的指示灯来缩小故障排查范围，确定故障原因，并制定针对性维修措施。

表 5-15　IM151 - 1 BASIC 接口模块上 LED 指示灯的含义及故障原因

SF 灯	BF 灯	ON 灯	故 障 原 因	解 决 办 法
熄灭	熄灭	熄灭	接口模块上没有电压	接通接口模块上的 DC24V
			接口模块存在硬件故障	更换同规格的接口模块
*	*	点亮	接口模块已通电，处于运行状态	—
*	闪烁	点亮	接口模块未组态或组态错误	检查组态，重新分配参数
*	闪烁	点亮	DP 主站（SINUMERIK 系统等）与接口模块间未进行数据交换	检查接口模块及 Profibus 地址

（续）

SF灯	BF灯	ON灯	故障原因	解决办法
*	点亮	点亮	传输波特率检测（监视间隔超时）	检查是否正确插入总线连接器；检查至DP主站的连接电缆是否已断开；再次接通和断开接口模块上的DC24V；重新设置接口模块的Profibus地址（3～125）
			非法的Profibus地址	
			底部DIP开关（Profibus地址）不在OFF位置	
点亮	*	点亮	组态的ET200S结构与ET200S的实际结构不匹配	检查ET200S的结构是否缺少模块，或模块有故障，或插入了未组态的模块
				用Step7软件检查组态，并纠正参数分配错误
			I/O模块存在错误或接口模块故障	更换同规格的接口模块
熄灭	熄灭	点亮	DP主站（SINUMERIK系统等）与ET200S间正进行数据交换，ET200S的设置组态和实际组态相匹配	—

注：“*”表示不适用。

表5-16 IM153－2接口模块上LED指示灯的含义及故障原因

SF灯	BF灯	ON灯	ACT灯	故障原因	解决办法
熄灭	熄灭	熄灭	熄灭	接口模块未通电	接通接口模块上的DC24V
				接口模块存在硬件故障	更换同规格的接口模块
*	*	点亮	*	接口模块已通电，处于运行状态	—
点亮	熄灭	熄灭	熄灭	模块通电后正在硬件复位	—
点亮	点亮	点亮	点亮	模块通电后正在硬件测试	—
熄灭	熄灭	点亮	点亮	IM153－2正与DP主站和ET200M的I/O模块交换数据	—
点亮	闪烁	点亮	熄灭	组态的ET200M与ET200M的实际结构不一致	检查ET200M的组态，确定模块是否未插入或有故障，是否存在未组态的模块
点亮	熄灭	点亮	熄灭	无效的Profibus地址。若信号模块SM的SF灯同时点亮，则S7－300模块故障或诊断出错，否则IM153－2故障	在IM153－2上设置有效的Profibus地址（3～125），经诊断检查信号模块SM，更换S7－300模块或IM153－2
*	点亮	点亮	熄灭	与DP主站无连接（搜索波特率）。原因：DP主站至IM153－2的总线通信已中断	检查是否正确安装了总线连接器，电缆/光纤与DP主站的连接是否中断，断开DC24V后再重新接通等
*	闪烁	点亮	熄灭	模块未正确组态，因站点地址错误或总线故障而使DP主站与模块间没有数据交换	检查IM153－2，检查组态和参数，检查电缆长度和终端电阻的设置，检查波特率是否匹配等

注：“*”表示不适用。

2）用BT200（订货号6ES7 181－0AA01－0AA0）进行硬件诊断与测试：在SINUMERIK系统安装调试阶段，可以使用手持式总线物理测试仪BT200（见图5-45）检测Profibus网络的距离及测试Profibus网络的连接质量（如断线、短路）等。

用BT200测试Profibus网络，可分为普通模式和专家模式（同时按下［ESC］键和［OK］键切换模式）两种。其中，在普通模式下仅能测试总线的接线状态，可检测出站点连接中断、接线反相、短路、A B相或屏蔽层断路、没有或多于两个终端电阻等错误信息［测试插头接在总线（两头配终端电阻）的一端，用BT200一段一段测量，逐次排除每段总线上A、B相是否短路及屏蔽层是否短接，见图5-46］。在专家模式下不仅能测试总线的接线状态，还可进行站点（RS485）测试、路径测试、Profibus网络距离测量（电缆长度≥15m）和反射测试等。



图5-45 手持式总线物理测试仪BT200
1—Profibus—DP接口（9芯D—Sub插座） 2—液晶显示（2×16字符） 3—开/关按钮 4—测试按键（开始检测） 5—光标按键 6—OK确认键 7—ESC退出键 8—充电触点

① 站点（RS485）测试：将BT200连接至已上电的单个从站后（见图5-47），既可通过检测RS485接口的状态以表明从站是否正常，也可测量实际总线的5V电平。若BT200没有响应，则表示未收到任何信号或从站地址设置错误。若无法连续收到信号，则需重复测试。

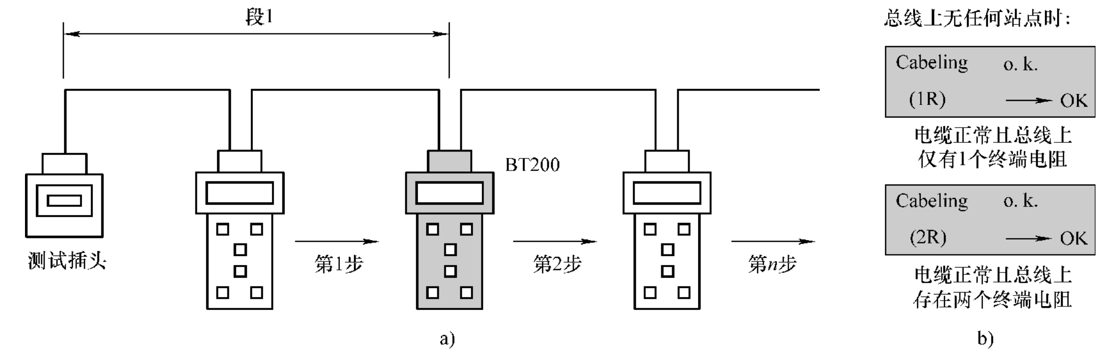


图5-46 BT200逐次测量每段总线的接线状态
a）BT200逐次测量示意图 b）屏显总线测试结果

② 路径测试（见图5-48）：BT200的路径测试可跨越中继器或光纤，对整个Profibus网络进行测试，可检测Profibus总线上所有从站是否激活，并显示所能找到的站点地址。

③ 反射测试：既可确定是否存在短路或断路等故障，也可确认距离测量的结果是否正确。通常，若网络中存在分支线路、终端电阻没有或太多、测量路径内含有异于Profibus总线的电缆、Profibus总线安装不正确（如端子接触不良）等情况时，则会引发信号反射。

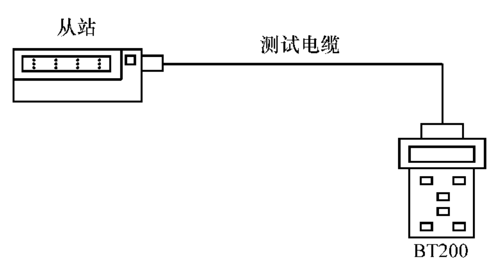


图5-47 BT200对单个从站进行测试

3）用Step7软件进行网络诊断：通过Step7软件所提供的“在线诊断”功能，可对运行过程

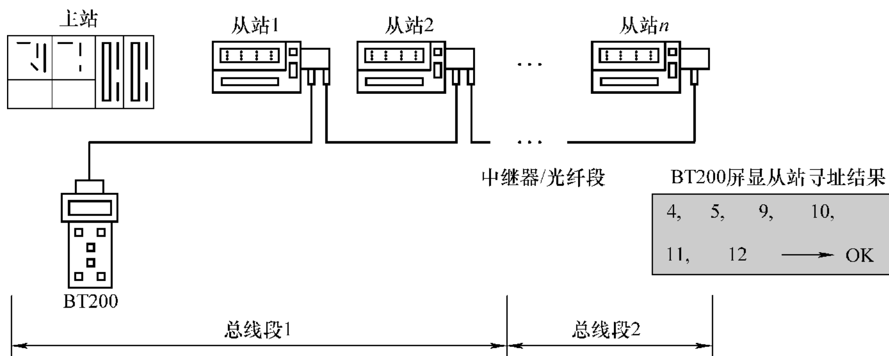


图 5-48 BT200 进行路径测试

中的 Profibus 网络进行最直接的实时诊断（如哪些从站出现故障等），并在 Step7 软件的诊断缓冲区给出故障信息。Step7 软件故障诊断的步骤如下：

① 将项目的组态信息下载至 CPU，执行中文菜单命令“视图→在线”或英文菜单命令“View→Online”，打开项目的在线视图。

② 打开所有的站点，使组态中的编程模块均可见。

③ 检查哪个 CPU 模块上显示了指示错误或故障的诊断符号（被用来形象直观地表示模块的运行状态和模块的故障状态），选中有诊断符号的模块，按［F1］键打开解释诊断符号的帮助页面。当模块有诊断信息时，在模块符号上就会增加 1 个诊断符号（见表 5-17）或模块符号的对比度降低。

表 5-17 Step7 软件中模块符号上的诊断符号

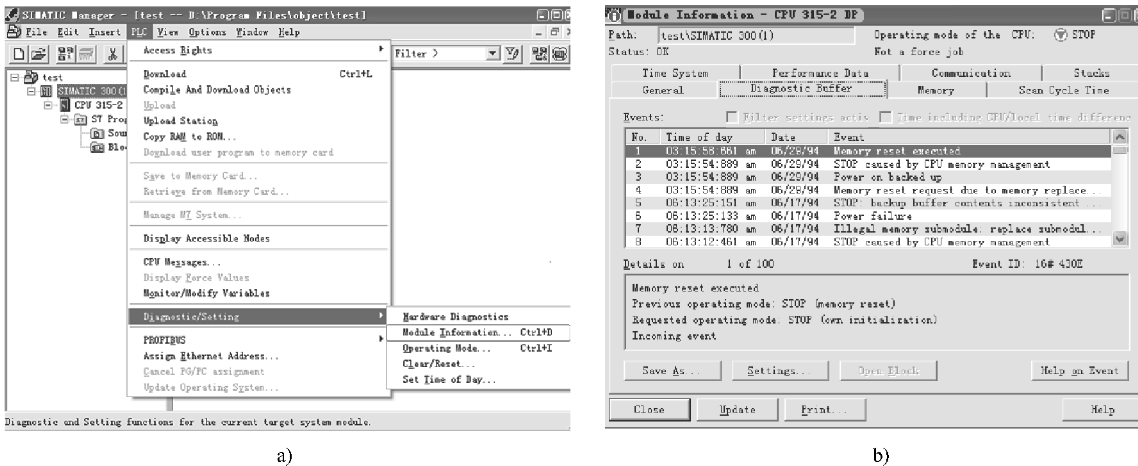
序号	诊 断 符 号	符 号 含 义
1		模块出现故障 可能的原因有：诊断中断、I/O 访问错误或检测到错误 LED
2		预设定（下载的）组态和实际组态不匹配 表示：被组态的模块不存在或已断电，通信中断，或插入了与组态模块不同类型的模块
3		不能进行诊断 表示：未在线连接，或 CPU 未将诊断信息返回模块（如电源或子模块）
4		工作模式：启动或 STARTUP
5		工作模式：停止或 STOP
6		工作模式：停止或 STOP 在多机运行模式中另一个 CPU 触发停止

（续）

序号	诊 断 符 号	符 号 含 义
7		工作模式：运行或 RUN
8		强制诊断 表示：该模块上有变量被强制，即在模块的用户程序中有变量被赋予 1 个固定值，该数据值不能被程序改变
9		工作模式：保持或 HOLD
10		维护请求（由 1 个黄色扳手指示） 表示：必须在可见的时间段内更换相关部件
11		维护要求（由 1 个橙色扳手指示） 表示：必须马上更换相关部件

④ 建立在线连接后，在 Step7 管理画面中选择要检查的站。

⑤ 利用 CPU 诊断缓冲区进行详细故障诊断（见图 5-49）：单击中文菜单栏“PLC→诊断/设置→模块信息”或英文菜单“PLC→Diagnostic/Setting→Module Information”，打开 CPU 模块信息窗口以显示该站中 CPU 的信息。在模块信息窗口的“Diagnostic Buffer”诊断缓冲区选项中，给出了 CPU 中发生的事件一览表，选中“Events”窗口中某一行的某一事件，下面灰色的“Details on”窗口将显示所选事件的详细信息，从而快速查找 CPU 的停机原因。



a)　　　　b)

图 5-49　利用 CPU 诊断缓冲区进行详细故障诊断

a）打开 CPU 诊断缓冲区　b）CPU 模块的在线模块信息窗口

⑥ 在硬件诊断期间显示快速视窗（中文菜单：选项→自定义→视图→用√选中）的前提下，单击中文菜单栏“PLC→诊断/设置→硬件诊断”或英文菜单“PLC→Diagnostic/Setting→Hardware Diagnostics”，打开硬件诊断快速浏览窗口，即可显示 PLC 的状态及查看站中的故障模块，双击故障模块时还可获取详细的故障信息。单击该快速视图内的［Open Station ONLINE］在线打开站点按键，打开硬件组态的在线诊断视图（包括站点内按插槽顺序排列的所有模块），双击机架上需要查看的模块便可显示其信息。

5.4 ProfiNET 通信技术及应用

在 SINUMERIK 828D 系统中，基于 ProfiNET I/O 技术的 PPU 上有两个带 LED 指示灯且全双工运行的 PLC I/O 接口——PN1 和 PN2（PPU240/241 仅有 PN2）。通过这两个接口和一根长度不超过 70m 的 MOTION－CONNECT 电缆，PPU 可与机床控制面板 MCP310C/483C PN（X20 或 X21 接口）或外设模块 PP72/48D PN（X2 接口）、PP72/48D 2/2A PN（X2 接口）实现通信连接，并以 100Mbit/s 的传输速率发送和接收数据。

ProfiNET 是 Profibus 国际组织（PI）推出的基于工业以太网的开放式现场总线标准（表 5-9 中的类型 10），属于众所周知的 Profibus－DP 现场总线和单元级通信总线的工业以太网的逻辑延伸（见图 5-50）。它采用了开放的 IT 标准，可与以太网的 TCP/IP 标准兼容，并提供实时功能，以满足所有自动化的需求。它还通过代理服务器（Proxy）技术透明无缝地集成 Profibus 现场总线和其他现场总线（如 Interbus 或 DeviceNET 等）。

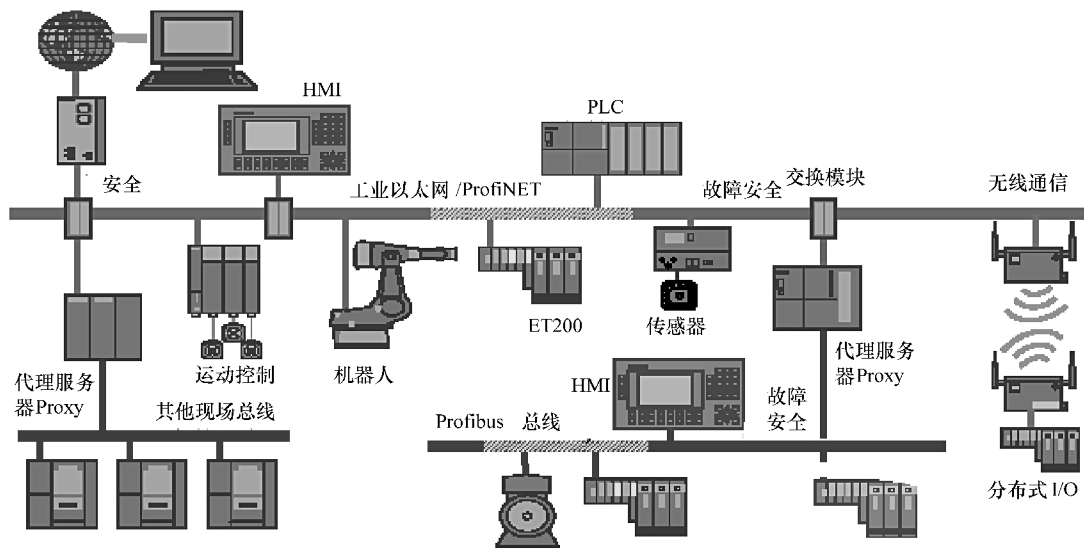


图 5-50　基于工业以太网的 ProfiNET 网络

（1）ProfiNET 通信与 Profibus 通信的区别（见表 5-18）

表 5-18　ProfiNET 通信与 Profibus 通信的区别

序号	比较项目	ProfiNET 通信	Profibus 通信
1	通信基础	工业以太网	RS485 串行总线
2	数据传输带宽/（Mbit/s）	100	≤12

（续）

序号	比较项目	ProfiNET 通信	Profibus 通信
3	数据传输方式	全双工（用两组不同的数据线传送数据，通信双方可在同一时刻接收和发送数据）	半双工（用同一组数据线传送数据，通信双方在同一时刻仅能发送数据或接收数据）
4	一致性数据/(B/s)	≤254	≤32
5	用户数据/(B/s)	≤1400	≤244
6	通信总线长度/m	≤100	与传输速率有关
7	引导轴的运行	在任意 SIMOTION 中运行	必须在 DP 主站中运行
8	组态诊断所需硬件	标准的以太网网卡	专用接口模板，如 CP5512
9	网络诊断所需工具	与 IT 相关的工具	特殊的工具，如 BT200
10	单个接口的作用	既做控制器又做 I/O 设备（所有数据类型并行使用）	仅能做主站或从站
11	网络位置的确定	经由拓扑信息确定	不能确定

（2）ProfiNET 的实时性　为了保证通信的实时性（即响应时间要短且数据访问间隔要确定），需要对信号的传输时间作精确的计算。当然，不同的现场应用对通信系统的实时性要求不同。通常，用响应时间作为标尺来衡量系统的实时性。据响应时间的不同，ProfiNET 可支持三种通信方式——TCP/IP 标准通信、实时（RT）通信和同步实时（IRT，又称等时实时）通信。

1）TCP/IP 标准通信（见图 5-51）：ProfiNET 基于工业以太网基础，使用 TCP/IP 标准。作为 IT 领域内通信协议标准的 TCP/IP，通过本地和分布式网络的透明通道可为以太网设备提供数据交换基础。对快速性无严格要求的、使用了 TCP/IP 标准的数据，响应时间约为 100ms 数量级，并可满足工厂控制级的应用。

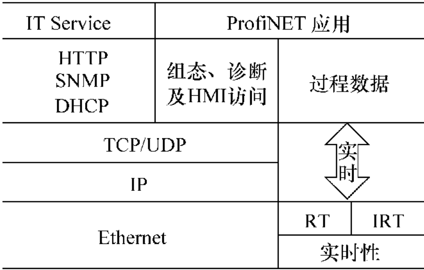


图 5-51　ProfiNET 数据访问 ISO/OSI 模型

2）实时（RT 为 Real－Time 的简称）通信：ProfiNET 的实时通信适用于对信号传输时间有严格要求的场合，如用于传感器和执行器的数据传输。分布式现场设备通过 ProfiNET 标准组件可直接连接至工业以太网，并与 PLC 等设备实现通信。ProfiNET 的响应时间与 Profibus－DP 等现场总线相同或更短，典型的更新循环时间为 1～10ms 设备，完全可满足现场级的要求。

3）同步实时（IRT 为 Isochronous Real－Time 的简称）通信：在现场级通信中，对通信实时性要求最高的是运动控制。SINUMERIK 828D 等系统内的伺服运动控制，对通信网络提出了更高的要求，如在 100 个节点下其响应时间和抖动误差分别要小于 1ms 和 1μs，以保证及时的、确定的响应。为此，ProfiNET 使用同步实时技术（借助 Switch－ASIC 芯片）来满足如此苛刻的响应时间（见图 5-52）。为了保证高质量的等时通信，所有网络节点必须很好地实现同步，以保证数据在精确相等的时间间隔内被传输。

（3）ProfiNET 的主要应用　ProfiNET 主要有 ProfiNET IO 和 ProfiNET CBA 两种应用方式。

1）ProfiNET IO：ProfiNET 是实现模块化、分布式应用的通信标准。ProfiNET IO 具有标准的接口，可将分布式现场设备直接连接至工业以太网。ProfiNET IO 与 Profibus 提供的设备模型相同，使用相同的工程系统（如 SINUMERIK 828D 或 840Dsl）对它们组态并用 GSD 文件描述属性；

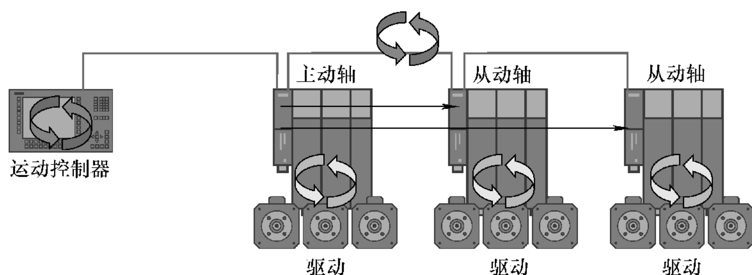


图 5-52 ProfiNET 同步实时通信用于运动控制

组态时将现场 I/O 设备分配给一个 IO 控制器（PLC）。可使用有代理功能的 ProfiNET 设备（如 IE/PB 链接器），将现有的 Profibus 系统无缝地集成到 ProfiNET 中，以保护现有系统的投资。代理功能使 Profibus 设备不但可与其主站通信，还可与 ProfiNET 上的所有节点通信。

2）ProfiNET CBA：CBA 是基于组件的自动化（Component Based Automation）的简称。ProfiNET CBA 不仅可将自动控制系统组织为独立的子网络或组件，其中组件包括所有的硬件组态数据、模块参数和有关的用户程序，还可通过在 Profibus 上使用代理设备，用 CBA 将所有现有的子网与 PLC 或现场设备互联以形成更大的自动化系统。

5.5 SMS 通信技术及应用

在 SINUMERIK 828D 系统中，PPU（X140 接口）通过一根长度不超过 3m 的 RS232 电缆（6NH7701－5AN）与调制解调器 SINAUT MD720－3 实现移动电话的 SMS 通信（参见第 1.6.2 节中“GSM 调制解调器 SINAUT MD720－3 与 PPU 的连接”），使操作者将机床的报警信息和维护信息以手机短信的形式随时发送给机床制造商的服务人员，并由其对机床进行远程监控和诊断。

SMS 是最早的短消息业务（第 1 代无线数据服务），也是现在普及率最高的一种短消息业务。目前，这种短消息的长度被限定在 140B 之内，这些字节可为文本形式，且一条 SMS 消息最长可包括 160 个字符（偶数二进制）。

1. SMS 的功用及特点

1）SMS 可提供存储和转发服务：短消息不是直接从发送人发送到接收人，而是始终通过 SMS 中心进行转发。当接收人处于未连接状态（可能电话已关闭）时，短消息会在接收人再次连接时发送。

2）SMS 具有消息发送确认功能：发送方不是简单地将短消息发出并相信其已发送成功，而是可收到接收方的返回消息以通知发送方短消息是否已发送成功。SMS 消息的发送和接收还可与 GSM 语音同步进行。

3）SMS 具有明确的通信对象：在开通 SMS 移动网络（按消息付费）并启用 SMS 通信的前提下，发送方必须有明确的接收短消息的目的地——支持 SMS 的移动电话或服务器。

2. SMS 通信的模式

SMS 通信有 Text 模式和 PDU 模式，这两种模式均用 AT 指令（见表 5-19）进行操作，即每个命令行都以 AT 开头（表示 attention），后接真正的指令，最后以“回车键”结尾。其中在 Text 模式下收发短消息的代码简单、操作容易，但不能收发中文短消息；在 PDU 模式下，除使用 7－bit 编码（发送普通的 ASCII 字符）和 8－bit 编码（发送数据消息）传送英文短消息外，还可使用 UCS2 编码（发送 Unicode 字符）收发中文短消息。

表 5-19　常用短消息 AT 指令

序号	AT 指令形式	指令内容
1	AT + CSMS =	选择短消息服务类型
2	AT + CPMS =	选择短消息存储器
3	AT + CMGF =	选择 SMS 模式，0—PDU 模式，1—Text 模式
4	AT + CSCA =	设置短消息服务中心地址
5	AT + CSDH =	显示文本模式参数
6	AT + CSCB =	选择小区广播信息类型
7	AT + CNMI =	新消息指示
8	AT + CMGL =	列出消息
9	AT + CMGR =	读取短消息
10	AT + CMGS =	发送短消息
11	AT + CMSS =	发送已保存的短消息
12	AT + CMGW =	写短消息
13	AT + CMGD =	删除短消息

例如在 Text 模式下向手机号码 13801234567 发送短消息“Weather”的 AT 指令

AT + CMGF = 1 <CR> ······························选择 SMS 模式为 Text 模式

AT + CMGS = “13801234567” <CR> ·········向被叫号码发送短信

> Weather <CTRL + Z>

例如在 PDU 模式下向手机号码 13801234567 发送短消息“Weather”的 AT 指令

AT + CMGF = 0 <CR> ······························选择 SMS 模式为 PDU 模式

AT + CMGS = 018 <CR> ·········向被叫号码发送 PDU 数据包长度$\frac{\text{PDU 数据包字符数} - 2}{2}$

> 0001000D91683108214365F700080459296C14 <CTRL + Z> ·········输入 PDU 信息

在所输入的 PDU 信息中，自左向右依次为：0001 表示基本参数，00 表示消息基准值 TP－MR，0D 表示目标地址数字个数（十进制但不包含后面的 91），91 表示目标地址格式，68 表示目标地址为中国，3108214365F7 表示目标地址（将接收方手机号码 13801234567 的每两位对调且 7 后面的空位用 F 补充），00 表示协议标示 TP－PID，08 标示用户信息编码格式为 TP－DCS（即 UCS2 编码），04 表示短消息的长度 TP－UDL（等于其后所有字符个数除以 2），59296C14 是通过编码转换软件得到的中文短消息“天气”的 Unicode 码（5929 为天、6C14 为气）。Unicode 码用来表示英文和数字时，应在英文或数字的 ASCII 码前加 00。

5.6　存储卡通信技术及应用

在 SINUMERIK 系统中，除采用 RS232 串行通信方式传送系统数据外，还有机内存储系统数据和存储卡传送系统数据两种方式。其中，系统数据的机内存储媒介包括存储容量非常有限（MB 级别）的高速闪存 FLASH ROM、较大容量（GB 级别）的硬盘驱动器和一定容量（MB 或 GB 级别）的 CF 卡三类；系统数据的存储卡传送属于机外存储，通过 PCMCIA 卡、用户 CF 卡和 USB 闪存等存储媒介，对系统数据既可进行系列备份，也可进行分区备份（见表 5-20）。不管机内存储系统数据还是存储卡传送系统数据，究其实质，均可视为广义范围内存储卡通信技术的应

用。当然，随着通信技术的日益发展及其在数控机床上的不断推广与应用，将来还会出现其他形式的存储媒介与新型存储方式。

表 5-20　SINUMERIK 系统数据的系列备份与分区备份

数据备份形式	详细内容	特点
系列备份	此备份形式是将系统的所有数据按一定序列采用二进制格式全部传输至存储媒介进行备份，并含有初始化系统或重新启动系统等操作指令。涉及的数据有：机床数据、设定数据、刀具参数、R 参数、零点偏移、螺距误差补偿值、用户报警文本、PLC 应用程序、零件加工程序和固定循环等，通常称之为试车数据或批量开机调试文档	备份方便，仅需传输保存 1 个文件即可；但内含一些特殊指令使得不同版本的系统间一般不通用，且文件不能打开。主要用于回装系统或启动同版本的系统
分区备份	此备份形式是将系统的各种数据分类传输至存储媒介进行备份；可分为 5 大类——1 类（零件程序和子程序…）、2 类（标准循环…）、3 类（用户循环…）、4 类（数据…，含机床数据、设定数据、刀具参数、R 参数、零点偏移与丝杠螺距补偿误差值）及 5 类（PLC－应用），每一类均可分别传输备份。带…符号的类别中又可选择某一程序、循环或数据	备份文件不分版本，具有通用性；但文件个数较多，备份不全则不能完全恢复系统，除 5 类（PLC－应用）为二进制格式外，其余均为文本格式（可打开进行编辑）

5.6.1　SINUMERIK 系统数据的机内存储

1. SINUMERIK 802S/C base line 及 802D/802Dsl/828D 系统数据的机内存储与恢复

在 SINUMERIK 802S/C base line 及 802D/802Dsl/828D 系统中，机床数据和零件加工程序等系统数据均被存放在 SRAM 区（即工作数据区）。当操作者误操作、机床加工/数据通信过程中电力供应突然切断或机床周围存在严重的干扰信号而使个别数据改变甚至全部数据参数被清除以及机床长时间关机停放致储能电容的电能耗尽（断电情况下可保持数据 50～60h）时，SRAM 区的数据将会丢失，进而影响机床的正常运转。因此，在系统调试完毕或个别数据/参数更改后，非常有必要执行一次“机内存储”操作，以将 SRAM 区的全部内容（如机床数据、刀具参数、零点偏移、设定数据、丝杠螺距误差补偿、R 参数、加工程序和固定循环）复制到高速闪存 FLASH ROM 区（即数据备份区。内部备份的数据不含 PLC 应用程序和用户报警文本，因这两者被直接存储在高速闪存中，见图 5-53）或自引导启动式 CF 卡内（SINUMERIK 828D 系统）。

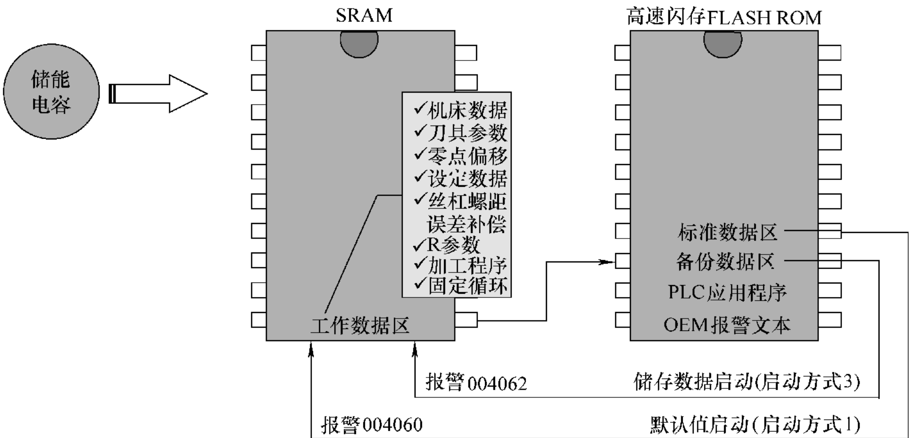


图 5-53　SINUMERIK 802S/C base line、802D 与 802Dsl 系统的存储器

1）SINUMERIK 802S/C base line 系统 SRAM 区内全部数据机内存储与恢复的操作步骤：

在激活存取权限——保护等级2（EVENING）的前提下，通过面板上的［区域转换］按键和［诊断］软键进入诊断操作区，依次单击软键［调试］、［>］键和［数据存储］，便可完成SRAM区内全部数据的机内存储任务。若需要恢复SRAM区的数据时，通过调试开关位置3或选择软菜单项“按存储数据启动”，即可将机内存储的备份数据装载至工作数据区。待系统启动完毕后，CNC装置的显示器会屏显004062报警（即机内存储数据被装载），按［复位］键可清除报警。

2）SINUMERIK 802D系统SRAM区内全部数据的机内存储操作步骤：同时按下［ALT］键和N键，也可同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入图5-54a所示的初始画面。在此画面内，按［设定口令］垂直软键以输入修改机床数据的存取权限——保护等级1（SUNRISE），口令输入后状态栏会显示“存取级别：制造商”。随后按下［数据存储］软键，PCU面板上出现图5-54b所示的提示画面，单击［确认］软键使SRAM区的全部数据复制到FLASH ROM区（见图5-54c）。复制过程中不能点按PCU面板或CNC键盘上的任何按键（此过程会持续几十秒），直至状态栏出现“数据存储结束”的提示信息时，方可操作机床。

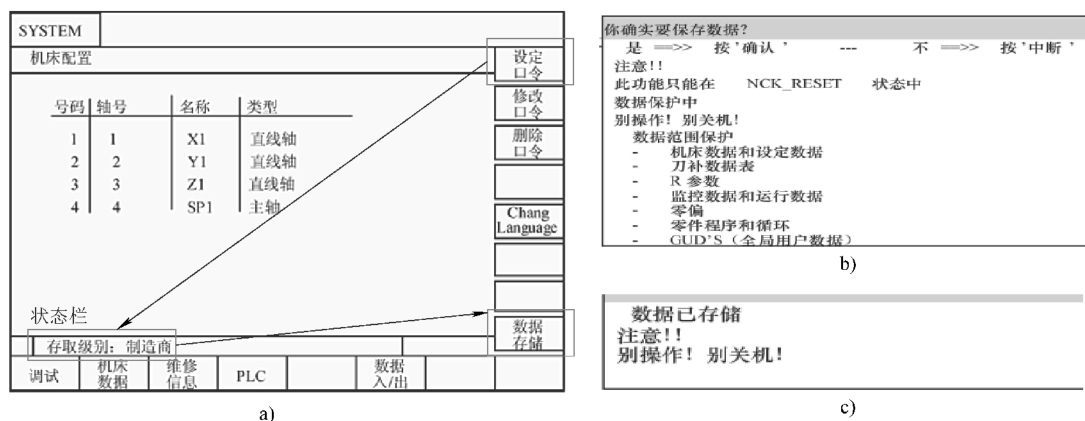


图5-54　SINUMERIK 802D系统SRAM区内全部数据的机内存储操作

a）初始画面内输入存取权限　b）确认要进行机内存储操作　c）机内存储正在进行

3）SINUMERIK 802D系统FLASH ROM区备份数据恢复至SRAM区的操作步骤：在图5-54a所示画面内激活存取权限（保护等级1），按［调试］软键进入NC启动选项画面（见图5-12），通过光标向下键选择“按储存数据上电启动”（即启动方式3），单击［确认］键后，即可将机内存储的备份数据恢复至SRAM中。除此方法外，还可在SINUMERIK 802D系统上电过程中，当PCU面板屏显“DRAM CHECK”时，3s内按［SELECT］选择键以出现图5-55所示的菜单画面，然后通过CNC键盘上的光标键选择“Reload saved user data”项，即可将机内存储的备份数据恢复至SRAM中。

4）SINUMERIK 802Dsl系统SRAM区内全部数据机内存储与恢复的操作步骤：同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入SYSTEM操作区基本画面（见图5-16），先通过画面中的垂直软键激活存取权限——保护等级1（SUNRISE），再依次单击［数据存储］键和［确认］键，便可完成SRAM区内全部数据的机内存储任务。若需要恢复SRAM区的数据时，单击SYSTEM操作区基本画面中［调试］软键进入与图5-12基本相同的NC启动选项画面，通过光标向下键选择“用保存的数据引导启动”，单击［确认］键后，即可将机内存储的备份数据恢复至SRAM中。待系统启动完毕后，PCU面板屏显004062报警（即机内存储数据被装载），按［复位］键可清除报警。除此方法外，还可在SINUMERIK 802Dsl系统上电过程中，当PCU面板的屏幕上出现一行满屏文字“SINUMERIK Solution line”并消失后，3s内按［SELECT］选择键

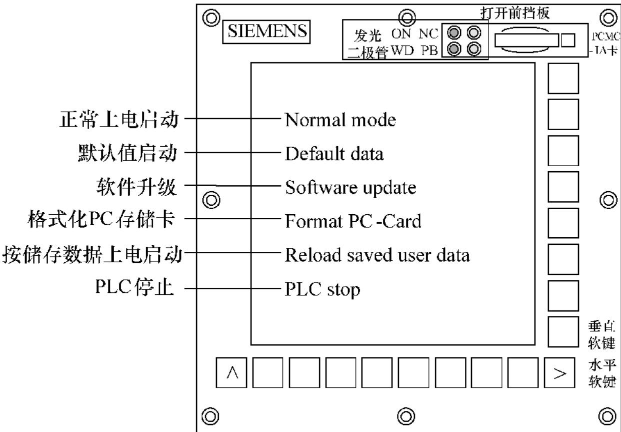


图 5-55 SINUMERIK 802D 系统开机时的菜单画面

使屏幕出现“Startup Menu”，再通过 CNC 键盘上的光标键选择“Reload saved user data”项，即可将机内存储的备份数据（机床数据和加工程序等）恢复至 SRAM 中。

5）SINUMERIK 828D 系统 SRAM 区内全部数据的机内存储操作步骤：在激活存取权限（保护等级 1）的前提下，依次单击 PPU 上的［Menu Select］区域转换键和［Start－up］软键，进入开机调试基本画面。随后按下［数据存储］软键，根据 PPU 屏幕上出现的提示信息（见图 5-56），单击［OK］软键使 SRAM 区的全部数据复制到自引导启动式 CF 卡上。复制过程中不能点按 PPU 上的任何按键，直至屏显“The data have been backed up successfully”（数据存储成功）的提示信息时，方可操作机床。

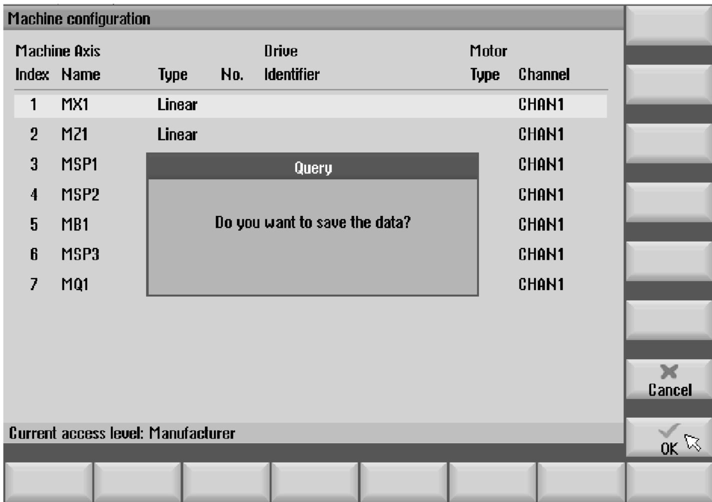


图 5-56 SINUMERIK 828D 系统 SRAM 区内全部数据的机内存储操作

6）SINUMERIK 828D 系统 CF 卡内备份数据恢复至 SRAM 区的操作步骤：在系统上电启动过程中，当 PPU 屏幕上出现“Press SELECT key to enter setup menu”信息时，3s 内按［SELECT］选择键以出现图 5-57 所示的菜单画面，然后通过光标向下键选择“Reload saved user data”项，并根据屏幕提示信息单击［INPUT］输入键两次，即可将自引导启动式 CF 卡内备份的数据恢复

至 SRAM 中。待系统启动完毕后，PPU 屏幕上出现 004062 报警（即机内存储数据被装载），按［复位］键可清除报警。

7）利用机内存储数据的恢复解决 SINUMERIK 802Dsl 系统故障的实例应用。

① 故障现象：YKX3132M 型数控滚齿机（详见第 2.2.2 节）在正常引导启动（启动方式 0）后，将 MCP 上的［方式选择］旋钮 SA5 置于回参考点方式及［轴选择］开关 SA6 置于 X 轴，按［+点动］按键使 X 轴返回参考点，以建立正确的坐标系（先 X 轴再 Z 轴）。但是，机床立柱/径向滑座没有任何移动迹象，而 PCU 面板的 10.4in LCD 显示器上 X 向坐标值处于回参考点的变化状态，此时屏幕上无任何报警提示信息。机床断电一段时间后，重新启动并执行 X 轴返回参考点操作，故障依旧。

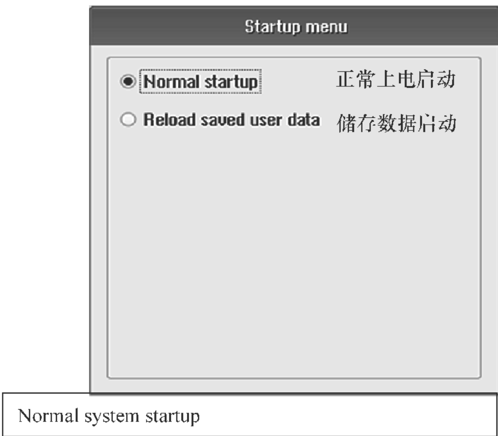


图 5-57　SINUMERIK 828D 系统开机时的菜单画面

② 原因分析：同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入 SYSTEM 操作区基本画面（见图 5-16）。依次单击画面内的［PLC］键和［PLC 程序］键进入在线 PLC 程序画面，按下垂直软键［程序模块］，移动光标键选择 SBR3（AXIS_ CON）子程序并将其打开，使 PLC 程序行定位至 Network6（见图 5-58）。随后执行 X 轴返回参考点操作，发现 PLC 至 NCK 的 X 轴延迟回参考点的接口信号 V38001000.7（PLC 与 NCK 间信号交换示意图参见图 2-72a）呈接通状态。又屏幕上 X 向坐标值处于回参考点的变化状态，则说明 MCP 上旋钮 SA5 与开关 SA6 的操

绝对名称	符号名称
OB1	MAIN
SBR0	USER_INI
SBR1	PLC_INI
SBR2	LUB_CONTL
SBR3	AXIS_CON
SBR4	SPINDLE
SBR5	TOOL_SHIFT
SBR6	COOLING
SBR7	TAILSTOCK
SBR8	WORK_CLA
SBR9	BLOW
SBR10	HANDWHEEL
SBR11	MST_HD
SBR12	ALARM_HD

图 5-58　YKX3132M 型数控滚齿机 S7-200PLC 程序的在线查看

作信号已输入 SINUEMRIK 802Dsl 系统的内置 S7 - 200PLC 中，并由 PLC 通过接口信号 V38001000.7 传送至 NCK 内进行了位置插补运算。打开机床电控柜门查看书本型双轴电动机模块 6SL3120 - 2TE21 - 0AA3（*X/Z* 轴）上 LED 指示灯的状态，READY 灯点亮呈绿色，DC - LINK 灯点亮呈黄色，二者均为正常状态。如此，可推断 SINUEMRIK 802Dsl 系统 NCK 部分的数据发生紊乱（类似工业计算机平台下用 Visual Basic、Visual C + + 或 Delphi 软件开发的机床操作界面进入“死循环”），导致 *X* 轴无法返回参考点。

③ 解决措施：在激活存取权限（保护等级 1）的前提下，进入 SYSTEM 操作区基本画面内的 NC 启动选项画面，通过光标键选择“用保存的数据引导启动”并单击［确认］键，将机内存储的备份数据装载至 SRAM 中以覆盖掉 SRAM 区的紊乱数据。系统启动完毕并用［复位］键清除 PCU 面板上屏显的 004062 报警后，执行 *X* 轴返回参考点操作，机床动作正常。

2. SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统数据的硬盘驱动器存储与恢复

通常，SINUMERIK 810D 系统选配 PCU20，SINUMERIK 840D 系统选配 PCU50 或 PCU50.3，SINUMERIK 840Dsl 系统选配 PCU50.3 - C/P 或 PCU70。这些 PCU 实际为带有 MPI 等接口的工业计算机，它们均配置有容量为 5GB 至数百 GB 的硬盘驱动器（PCU20 没有硬盘而是软驱），以用来分区安装 Windows 操作系统、MSDOS 操作系统（PCU50.3/PCU70 中没有）、SINUMERIK 服务菜单和 HMI 软件（分为 HMI Embedded 和 HMI - Advanced 两个版本）以及存放机床工作时 SRAM 区暂不需要的文件等。

作为 SINUMERIK 系统正常工作所需的机床数据、标准循环子系统和安全集成等 NCK 数字控制软件，被存放于 NCK 的 SRAM（即工作数据区）内，并在断电情况下由电压为 3V（PCU50/50.3，规格 A5E00331143）或 3.6V（PCU70，规格 W79084 - E1003 - B1）的 CMOS 后备电池持续保持数据一个月左右。而一旦操作者误操作、机床加工/数据通信过程中电力供应突然切断或机床周围存在严重的干扰信号而使个别数据改变甚至全部数据参数被清除以及机床长时间关机停放致后备电池的电能耗尽（正常使用寿命为 4 ~ 5 年）时，SRAM 内的数据将会丢失，进而使机床无法正常运转。此时，须将系列备份在硬盘驱动器内的 NC 存档文件恢复至 SRAM 区（即创建批量开机调试文档）。

1）装载 HMI Embedded（内嵌式 HMI）软件的 SINUMERIK 810D/840D 系统中 NC 数据系列备份至硬盘的操作步骤：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→单击水平软键［Start - up］进入开机调试基本画面（见图 5-59）→按［Set password］设置口令软键进入密码输入画面→输入保护等级 3 以上的口令后按［OK］垂直软键以激活存储权限→再按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［ > ］（又称 ETC 键）和［Series Start - up］批量调试软键→显示数据的系列备份画面（见图 1 - 89）→在画面中分别选择存档内容 MMC、NC 和 PLC 并用系统默认的文件名再加上日期来定义文档名称（如 MMCNCPLC20121114）→单击垂直软键［Archive］→选择硬盘驱动器为批量调试数据的存储目标并开始系列备份。

2）装载 HMI Embedded（内嵌式 HMI）软件的 SINUMERIK 810D/840D 系统中 NC 数据自硬盘恢复的操作步骤：激活存取权限（保护等级 3 以上）→按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［ > ］和［Series Start - up］批量调试软键及［Read Start - up Archive］读入调试文档垂直软键→进入数据恢复画面并弹出归档文件夹的所有档案文件→移动光标选择待恢复的存档文件→依次单击［Start］和［Yes］垂直软键便开始数据的恢复（见图 1 - 90）。

3）装载 HMI - Advanced（高级 HMI）软件的 SINUMERIK 840D/840Dsl 系统中 NC 数据系列备份至硬盘的操作步骤：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→单击水平软键［Start - up］进入开机调试基本画面（见图 5-4b）→依次单击水平软键［Password...］和垂直软键［Set

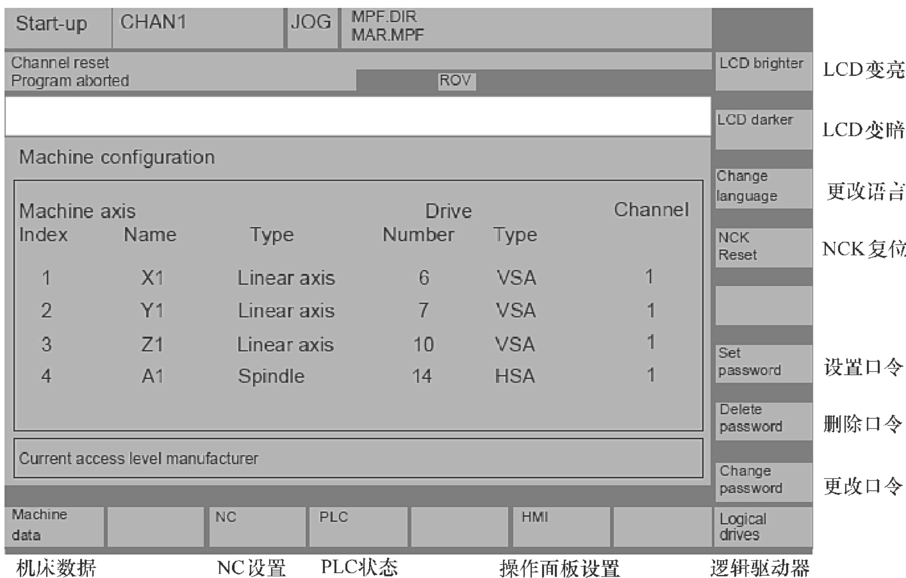


图 5-59　SINUMERIK 810D/840D 系统的开机调试基本画面

注：PCU 内安装 HMI Embedded（内嵌式 HMI）软件时显示此画面。

password］进入密码输入画面（Please enter password）→输入保护等级 3 以上的口令后按［OK］垂直软键以激活存取权限→再按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［ > ］（又称 ETC 键）和［Series Start - up］批量调试软键→显示数据的系列备份画面（见图 5-60）→在画面中分别选择存档内容 HMI、NC 和 PLC 并用系统默认的文件名再加上日期来定义文档名称（如 HMINCPLC20121114）→单击垂直软键［Archive］→选择硬盘驱动器为批量调试数据的存储目标并开始系列备份。

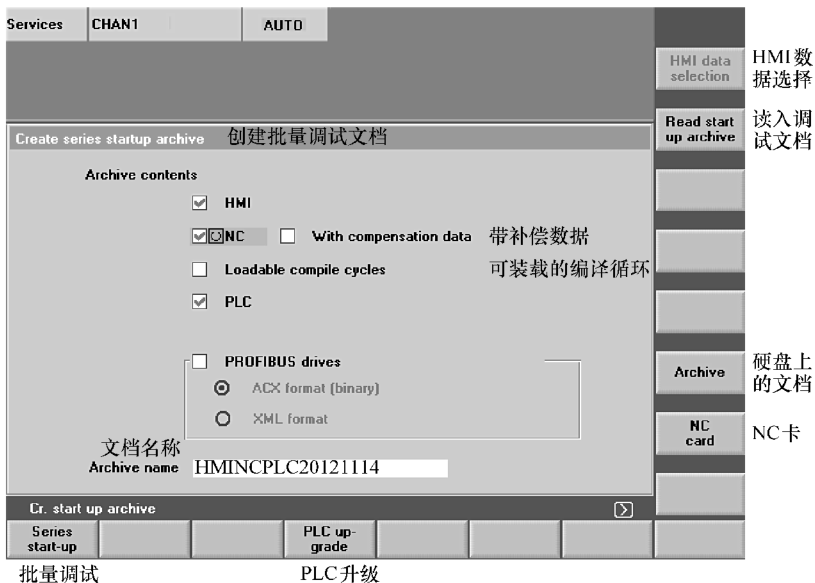


图 5-60　SINUMERIK 840D/840Dsl 系统数据的系列备份画面（高级 HMI）

4）装载 HMI－Advanced（高级 HMI）软件的 SINUMERIK 840D/840Dsl 系统中 NC 数据自硬盘恢复的操作步骤：激活存取权限（保护等级 3 以上）→按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［＞］和［Series Start－up］批量调试软键及［Read Start－up Archive］读入调试文档垂直软键→进入数据恢复画面并弹出归档文件夹的所有档案文件→移动光标选择待恢复的存档文件→依次单击［Start］和［Yes］便开始数据的恢复。

5.6.2 SINUMERIK 系统数据的存储卡传送

1. SINUMERIK 802D 系统数据的存储卡传送

打开 SINUMERIK 802D 系统 PCU 面板（正面）右上角的挡板，内有 1 个 PCMCIA 插槽。该插槽应使用订货号为 6FC5650－0DA00－0AH0、容量为 8MB 的 PCMCIA 卡（PC 卡或 NC 卡），以用于系统数据的系列备份和分区备份及数据回装。

1）PCMCIA 卡的格式化：在关机状态下，将符合要求的 PCMCIA 卡（西门子标签向下）插入 PCU 前面板右上角的插槽内。接通系统电源，启动过程中 PCU 面板屏显“DRAM CHECK”时，3s 内按［SELECT］选择键以出现图 5-55 所示的菜单画面，通过 CNC 键盘上的光标向下键选择“Format PC－Card”项并单击［INPUT］按键。待屏显“Format PC－Card（Caution：All data will be lost!!!）Do you really want［N/Y］?：”时，在光标处输入“Y”后单击［INPUT］按键，即可启动 PCMCIA 卡的格式化。

2）系统数据备份至 PCMCIA 卡的操作步骤：在图 5-54a 所示画面内激活存取权限（保护等级 1），单击［数据入/出］软键进入数据选择画面（见图 5-61），通过 CNC 键盘上的光标向下键选中待传送数据（如试车数据 NC 卡、PLC_ 应用 NC 卡等），单击［读出］软键后即可将数据备份至 PCMCIA 卡。

图 5-61 SINUMERIK 802D 系统的数据选择画面

3）PCMCIA 卡内数据回装系统的操作步骤：操作步骤与“系统数据备份至 PCMCIA 卡”基本相同，只是选中待传送数据后单击［读入］软键。

2. SINUMERIK 802Dsl 系统数据的存储卡（CF 卡与 USB 设备）传送

打开 PCU 面板（正面）右上角的挡板，内有 1 个 50 芯的支持热插拔的 CF 卡插槽，该插槽应使用格式为 FAT16 或 FAT32 的 CF 卡（订货号 6FC5313－5AG00－0AA0），可用于系统数据的系列备份和分区备份及数据回装。PCU 面板背面的接口 X10 还可支持 USB 设备，并可通过转接

线连至适配器上，功用与 CF 卡相同。

1）CF 卡或 USB 设备内零件加工程序传送至数控系统的操作步骤：先将 CF 卡（正面向上）插入 CF 卡插槽内或 USB 设备插在接口 X10 上，按下 CNC 键盘上［PROGRAM MANAGER］键进入程序管理器基本画面后，单击水平软键［用户 CF 卡］进入用户 CF 卡界面，通过光标向下/向上键选中待传输的程序文件名并单击垂直软键［复制］。然后再单击水平软键［NC 目录］进入 NC 目录画面（见图 5-62），按［粘贴］软键即可使 CF 卡内的零件加工程序复制到数控系统中。程序转移过程中，CF 卡插槽最右侧的黄色 CF 指示灯处于闪烁状态以表示 CF 卡正处于读取状态，此时不可拔出 CF 卡（避免损坏）。USB 设备传送零件加工程序的操作与 CF 卡的操作基本相同，只是单击水平软键［USB 驱动器］。

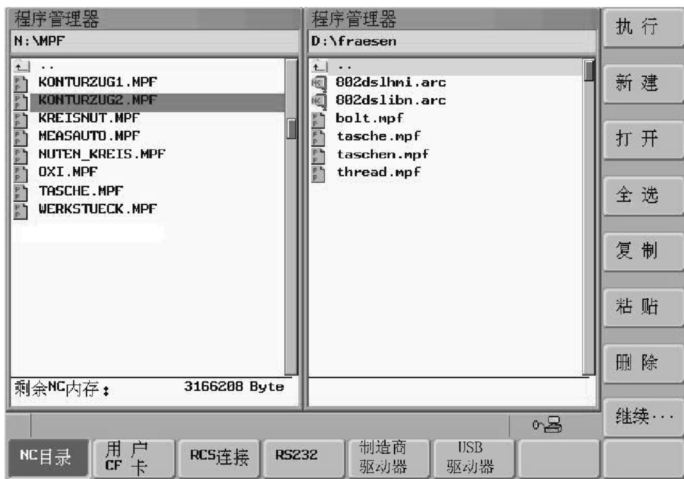


图 5-62　SINUMERIK 802Dsl 系统的 NC 目录画面

2）系统内零件加工程序向外传送至 CF 卡或 USB 设备的操作步骤：操作过程与“CF 卡或 USB 设备上的零件加工程序传送至数控系统”正好相反。在用户 CF 卡界面及 USB 驱动器画面下，不能对 CF 卡或 USB 设备上的零件加工程序进行编辑操作。若要修改 CF 卡或 USB 设备上的零件加工程序，则需回到 PC 上进行编辑或者将该程序复制到 NC 目录画面进行编辑。

3）CF 卡或 USB 设备上创建开机调试文档的操作步骤（见图 5-63）：先将 CF 卡（正面向上）



图 5-63　在 CF 卡或 USB 设备上创建开机调试文档的操作画面

a）选择开机调试文档　b）批量调试的用户 CF 卡画面

插入 CF 卡插槽内或 USB 设备插在接口 X10 上，在 SYSTEM 操作区基本画面内激活存取权限（保护等级 1），并在该画面内依次单击水平软键［调试文件］和［802D 数据］以进入开机调试画面，通过光标向下键选择“开机调试文档（驱动/NC/PLC/HMI）”，按［复制］软键将其复制到剪贴板上。随后，按水平软键［用户 CF 卡］或［USB 驱动器］，分别进入用户 CF 卡画面和 USB 设备画面，单击［粘贴］软键并输入归档文件名称，即可在 CF 卡或 USB 设备上创建开机调试文档。

4）CF 卡或 USB 设备内开机调试文档回装数控系统的操作步骤（见图 5-64）：先将 CF 卡（正面向上）插入 CF 卡插槽内或 USB 设备插在接口 X10 上，在 SYSTEM 操作区基本画面内激活存取权限（保护等级 1），并在该画面内依次单击水平软键［调试文件］和［用户 CF 卡］或［USB 驱动器］，以分别进入用户 CF 卡画面和 USB 设备画面。再通过光标向下键选择所要回装的文档，按［复制］软键将其复制到剪贴板上。接下来，按水平软键［802D 数据］以进入开机调试画面，通过光标向下键选择“开机调试文档（驱动/NC/PLC/HMI）”所在行，单击［粘贴］软键，据画面提示信息（见图 5-64a）按［确认］软键后，即可将 CF 卡或 USB 设备上的开机调试文档回装数控系统。



a)　　　　b)

图 5-64　开机调试文档回装数控系统的信息画面

a）文档回传时的提示信息　b）文档回传进度条

3. SINUMERIK 828D 系统数据的存储卡（CF 卡与 USB 设备）传送

打开 PPU 侧面的用户接口保护盖，内有 1 个 50 芯的支持热插拔的 CF 卡插槽（接口 X145）。此处使用格式为 FAT16 或 FAT32 的用户 CF 卡（订货号 6FC5313 – 5AG00 – 0AA1/1GB），可用于保存用户数据（机床数据等）以扩大 PPU 用户存储器的存储容量。拆掉 PPU 背面右上角的金属盖板，内插 1 张自引导启动式 CF 卡（格式、型号与用户 CF 卡相同），可用于保存 PPU 运行所必需的系统软件（基础型软件、SINAMICS 固件和版本信息及许可证密码）。不仅在 PPU 侧面用户接口保护盖后有 1 个 USB 接口 X125，还在 PPU 背面有 1 个 USB 接口 X135，这两个接口均可使用 USB 设备（只有当操作面板 USB 端口上插有 USB 闪存驱动器时，软键［USB］方可使用）。

1）NC 数据系列备份至 CF 卡或 USB 设备上的操作步骤：激活存取权限（口令 SUNRISE）→单击 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［ > ］和［Series Start – up］批量调试软键→显示数据的系列备份画面（见图 5-65）→在画面中分别/全部选择存档内容 NC 数据、PLC 数据、驱动数据或 HMI 数据并在注释栏内添加一定的说明信息→单击垂直软键［Generate archive］→选择归档文件的存储路径为用户 CF 卡、USB 设备

或自引导启动式 CF 卡→单击［New directory］软键进入新建文档画面→输入归档文件的子目录名并单击［OK］软键两次后进入归档文件画面→选择归档文件的格式（如二进制格式的存档 ARC）并输入归档文件名后单击［OK］软键→系统开始执行数据的系列备份直至归档结束。

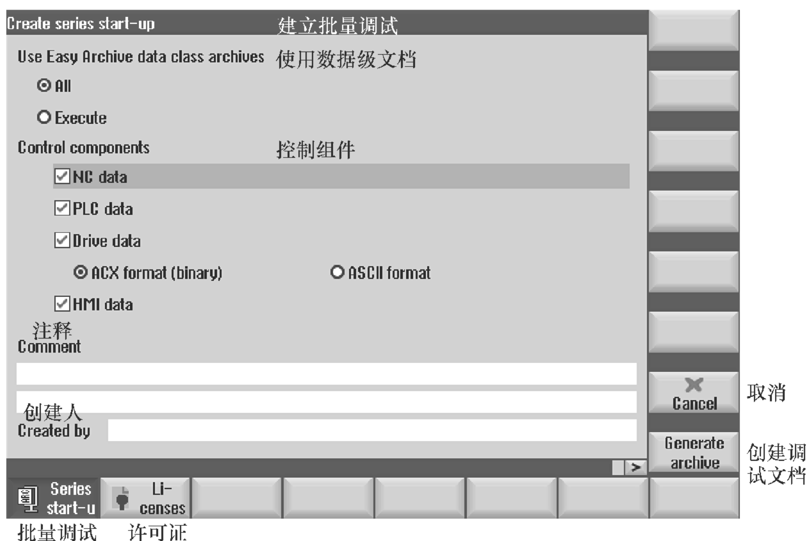


图 5-65　SINUMERIK 828D 系统数据的系列备份画面

2）CF 卡或 USB 设备内 NC 数据回装数控系统的操作步骤：激活存取权限（口令 SUNRISE）→单击［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［>］和［Series Start－up］批量调试软键→单击［OK］软键进入批量调试画面后按下［Read in series startup］读入调试文档垂直软键→单击［OK］软键进入归档数据选择画面（见图 5-66）→选择 CF 卡上已存储的归档文件（批量调试的试车数据）→连续单击［OK］软键即可开始数据的恢复。

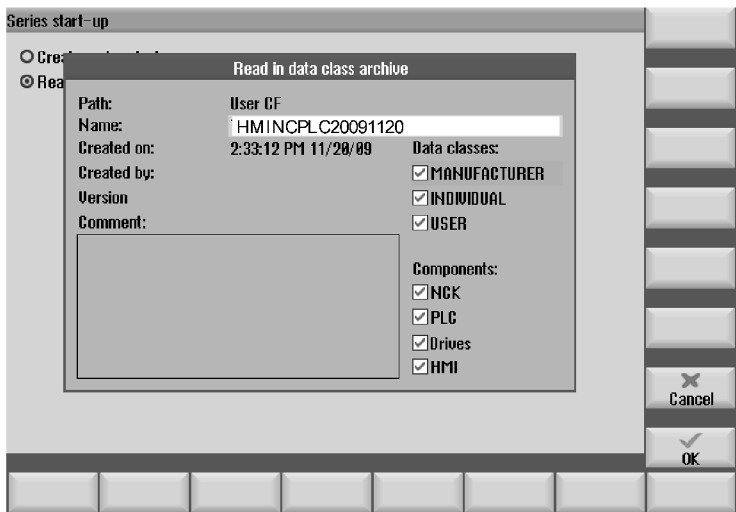


图 5-66　SINUMERIK 828D 系统归档数据的选择画面

4. 装载 HMI Embedded 软件的 SINUMERIK 810D/840D 系统数据的存储卡传送

在 SINUMERIK 810D 系统（多选配 PCU20 且 USB 接口仅能用来连接鼠标或键盘）的 CCU 模块上有 1 个 68 芯的不支持热插拔（损坏存储卡硬件或破坏数据的组织形式）的 PCMCIA 插槽，内插 1 张订货号为 6FC5253－0AE02－0AA0 的 CHS 格式的存储卡，可用来存储 NCK 系统文件、PLC 系统文件和驱动通信文件以及备份 NC/PLC 数据、工件/零件程序等。在 SINUMERIK 840D 系统的 NCU 模块上也有 1 个 68 芯的不支持热插拔的 PCMCIA 插槽（槽号 X173），内插 1 张订货号为 6FC5250－6CY30－5AH0、容量为 8MB/16MB 的 Flash Memory 卡，卡上固化有 NCK、PLC 和 611D 驱动的系统文件以及引导文件，主要用于 840D 系统的引导启动。SW5.2 以上版本中的 Flash Memory 卡还可用于备份 NC 数据和 PLC 数据，以备 NCK 的 SRAM 区数据丢失或损坏时经由服务菜单进行数据恢复。

1）PCU20 上存储卡（6FC5253－0AE02－0AA0）的使用：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键→单击水平软键［Start－up］进入开机调试基本画面（见图 5-59）→单击右下角的［Logical drives］软键进入图 5-67 所示的逻辑驱动器设定画面→按虚线框中的内容进行存储卡的设定→按右侧［Save］垂直软键保存设定并等待 PCU20 重新启动→PCU20 重启后将存储卡插入 PCMCIA 插槽内并再次上电启动→依次按下［Menu Select］区域转换键和［Program］程序软键→进入程序基本画面便可找到名为“ATA CARD”的操作软键→按下此键即可访问存储卡上的内容。

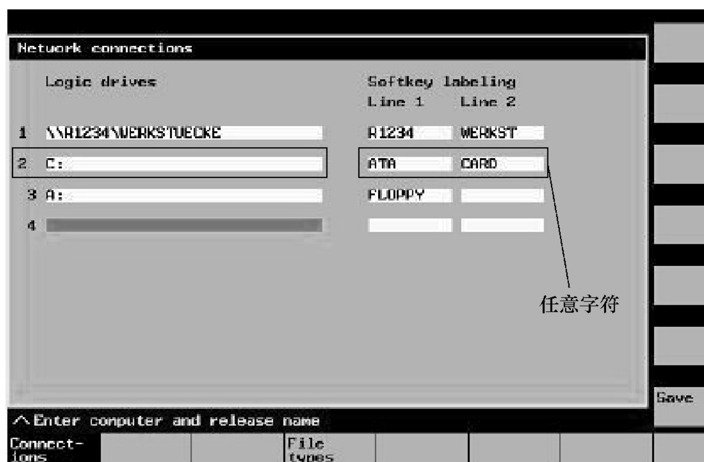


图 5-67 PCU20 上逻辑驱动器设定画面

2）NC 数据系列备份至存储卡的操作步骤：其操作步骤与第 5.6.1 节中“装载 HMI Embedded 软件的 SINUMERIK 810D/840D 系统中 NC 数据系列备份至硬盘的操作步骤”基本相同，只是在数据的系列备份画面中单击垂直软键［NC Card］，以选中 PCMCIA 卡作为批量调试数据的存储目标。

3）存储卡内开机调试文档回装数控系统的操作步骤：激活存取权限（SUNRISE）→按［Menu Select］区域转换键→依次按下［Service］服务软键、最右侧扩展键［＞］和［Original state］原始状态软键→出现带有询问的记录窗口“批量调试存档：进行批量开机调试?”→单击［Yes］软键后开始自存储卡载入开机调试文档。

4）Flash Memory 卡（SW5.2 以上版本）传送工件/零件程序等数据的操作步骤：依次按［Menu Select］区域转换键和［Service］服务软键后，进入程序/数据一览画面（见图 5-68）。单击［Data out］读出数据后，通过光标向上/向下键选中待输出的目标文件，按下［NC Card…］软键便开始将系统数据输出至 Flash Memory 卡上。若要将数据自 Flash Memory 卡读入，其操作顺序与上述的输出顺序相反且单击［Data in］软键。

Programs/data: SOURCE　　\MPF.DIR

Name	Type	Loaded	Length	Date	Enable
Archive	DIR			21/11/2000	×
Display-machine-data	DIR			21/11/2000	×
manufacturers-cycles	DIR			21/11/2000	×
Comments	DIR	×		01/01/1980	
Standard-cycles	DIR			21/11/2000	×
User-cycles	DIR			21/11/2000	×
Definitions	DIR	×		01/01/1980	
Diagnosis	DIR			21/11/2000	×
MSD-data	DIR	×		01/01/1980	×
Part-programs	DIR	×		01/01/1980	
Subprograms	DIR	×		01/01/1980	
Templates	DIR			21/11/2000	×
FDD-data	DIR	×		01/01/1980	×
Workpieces	DIR			21/11/2000	×
Tool-Management	DIR			21/11/2000	×
NC-active-data	DIR			21/11/2000	×

Free memory:　Hard disk : 1.465.778.176　NCU : 1.257.500

Control -> V24, diskette, archive

V24 | PG | Disk... | Archive... | NC card...

Data in | Data out | Manage data | Data selection | Interface

图 5-68　SINUMERIK 840D 系统的程序/数据一览画面

5. 装载 HMI – Advanced 软件的 SINUMERIK 840D/840Dsl 系统数据的 USB 设备传送

通常，SINUMEIRK 840D/840Dsl 系统选配 PCU50.3 – C、PCU50.3 – P 或 PCU70。其中，PCU50.3 的背面板上有 4 个外部高速 USB 接口（同时操作数目不超过 2 个）X41、X40，在 PCU70 的背面板上有 2 个外部高速 USB 接口。这些 USB 接口均可连接 USB 设备，以用于零件程序、子程序和工件程序的数据交换操作（不推荐在 USB 设备上直接执行程序）。操作步骤为：将 USB 设备插在 PCU50.3/PCU70 背面板的 USB 端口上，按下［Menu Select］区域转换键→单击水平软键［Program Manager］进入程序管理器画面（见图 5-69）→按［USB］软键即可进行与 USB 设备相关的一些数据交换操作。

CHAN1 名称	类型	长度	日期	时间
零件程序	DIR		09.11.30	15:49:09
子程序	DIR		09.12.02	11:24:33
工件	DIR		09.12.02	14:53:07
DREHEN1	WPD		09.12.02	08:40:58
GGG	WPD		09.12.01	12:03:39
JOBSHOP_MEHRK	WPD		09.12.03	09:18:27
MEHR	WPD		09.11.30	15:49:23
MEHRKANAL	WPD		09.12.02	12:47:20
SIM_CHESS_KING	WPD		09.11.30	15:49:14
SIM_CHESS_LADY_26	WPD		09.11.30	15:49:14
SIM_CHESS_TOWER	WPD		09.11.30	15:49:15
SIM_ZYK_T_26	WPD		09.11.30	15:49:17
SWOB	WPD		09.12.03	08:39:49
UT	MPF	205	09.12.03	15:22:48
TEMP	WPD		09.11.30	15:49:33

图 5-69　SINUMERIK 840D/840Dsl 系统程序管理器画面

第6章 S7-200/300 PLC在SINUMERIK系统中的应用及维护

早期的普通机床因动作简单而由按钮、按键、触点和线圈等电气元件或部件，按继电器逻辑的原理进行硬接线而实现电气控制，但运行起来不可靠且电控柜体积庞大。为此，在配置了SINUMERIK系统的现代数控机床上普遍应用可编程序逻辑控制器PLC（日本的FANUC系统称为PMC）实现逻辑控制——逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等。目前，SINUMERIK 802D/802Dsl/828D系统采用以SIMATIC S7－200指令组为基础的内置PLC，其编程工具为基于Step7－Micro/WIN 32基础开发的PLC802（828D系统为PLC828）；SINUMERIK 810D/840D/840Dsl系统采用以SIMATIC S7－300指令组为基础的内置PLC，其编程工具为SIMATIC标准工具Step7。SINUMERIK系统中S7－200/300 PLC与NCK和MT的关系如图6-1所示。

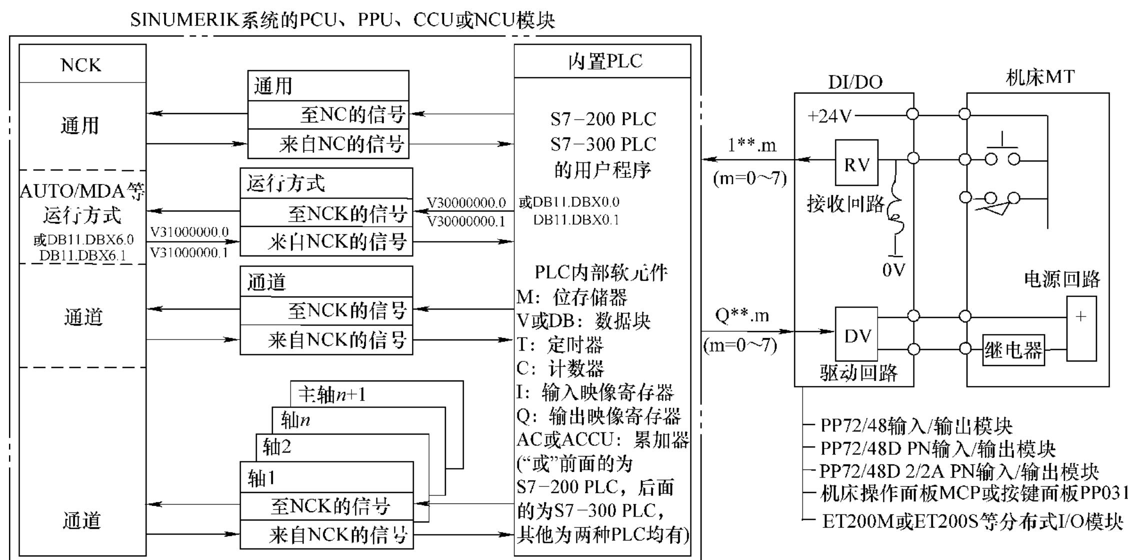


图6-1 SINUMERIK系统中S7－200/300 PLC与NCK和MT的关系图

6.1 S7－200/300 PLC概述

6.1.1 PLC的功能

1）用于过程映像输入信号的控制。在SINUMERIK系统中，其内置PLC不仅可为标准型机床控制面板（如MCP483、MCP310、MCP483C PN或PP031等，且版本和型号不同，I/O信号地址不同）或自制型机床控制面板（见图2－71）提供按键/旋钮响应信号的过程映像输入信号地

址（I），如机床运行方式切换、坐标轴选择、移动方向控制、速度倍率修调控制、钥匙开关位选择、切削液开/关、主轴手动正反转/停止、测量仪前进/后退、尾座顶尖前进/后退等；而且还可对机床侧外围开关响应信号的过程映像输入进行控制，如气体压力的监控、油液温度的监测、坐标轴运行到位检测等。

2）用于过程映像输出信号的控制。在SINUMERIK系统中，内置PLC逻辑处理后的用于控制的信号（Q）经由PLC接口与外围电路中的继电器（即外围强电信号和PLC弱电信号间的转换媒介）、接触器、电磁阀或电磁制动器等输出元件，以电信号形式输出给冷却泵、润滑泵、液压元件和气动元件等执行元件（见图6-2）。同时，还为机床控制面板上的按键/旋钮响应信号以发光二极管等指示灯点亮的形式给定了过程映像输出信号，有时这些信号（如MPP483/483L、MCP310或PP012等，见图6-3）被固定而不能用做其他。

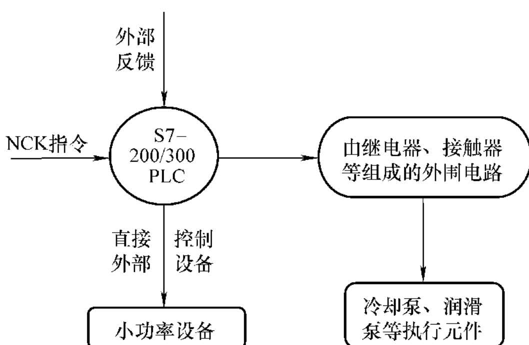


图6-2　PLC过程映像输出信号的控制过程

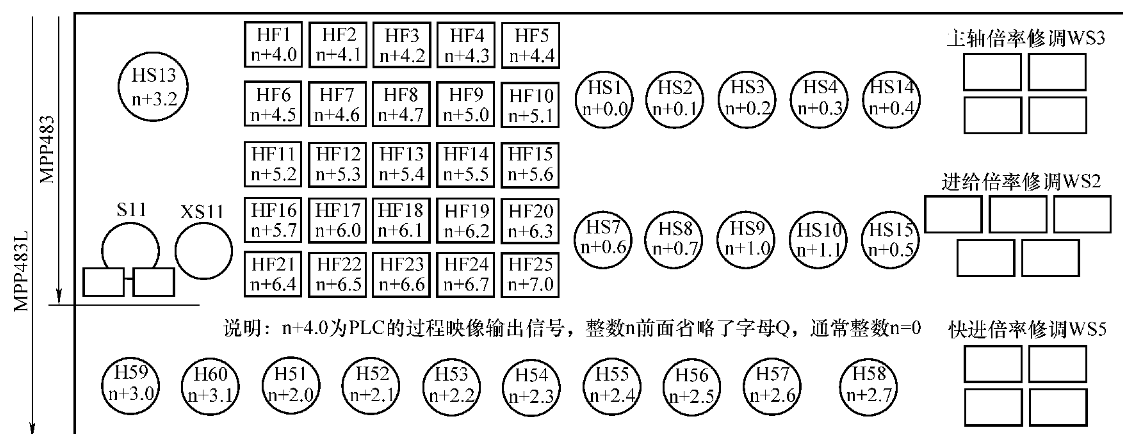


图6-3　机床按键面板MPP483/483L的过程映像输出信号分配

3）用于M功能的实现控制。M功能指的是数控机床的辅助机能，主要用于主轴的旋转控制（正反转、停止和寸动）、切削液冷却装置和排屑装置的开关控制、程序执行方式的控制（开始、结束和暂停）以及机床润滑、刀库刀套上升/下降、机械手旋转等辅助机构的开关控制。在SINUMERIK系统中，NCK预先读取零件加工程序中的M代码，再经由动态接口（见表6-1）向内置PLC发送M代码激活信号。内置PLC读取该信号后进行内部逻辑处理，随后向外给出过程映像输出信号，进而通过继电器、接触器、控制阀和执行元件等实现辅助动作的控制。

表6-1　SINUMERIK系统中关于M功能的动态接口（NCK→PLC）

接口信号	位7	位6	位5	位4	位3	位2	位1	位0
VB2500 1000 DB（21～30）．DBB194	M07	M06	M05	M04	M03	M02	M01	M00
VB2500 1001 DB（21～30）．DBB195	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M09	M08

（续）

接口信号	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
VB2500 1002 DB（21～30）.DBB196	M23	M22	M21	M20	M19	M18	M17	M16
VB2500 1003 DB（21～30）.DBB197	M31	M30	M29	M28	M27	M26	M25	M24
VB2500 1004 DB（21～30）.DBB198	M39	M38	M37	M36	M35	M34	M33	M32
VB2500 1005 DB（21～30）.DBB199	M47	M46	M45	M44	M43	M42	M41	M40
VB2500 1006 DB（21～30）.DBB200	M55	M54	M53	M52	M51	M50	M49	M48
VB2500 1007 DB（21～30）.DBB201	M63	M62	M61	M60	M59	M58	M57	M56
VB2500 1008 DB（21～30）.DBB202	M71	M70	M69	M68	M67	M66	M65	M64
VB2500 1009 DB（21～30）.DBB203	M79	M78	M77	M76	M75	M74	M73	M72
VB2500 1010 DB（21～30）.DBB204	M87	M86	M85	M84	M83	M82	M81	M80
VB2500 1011 DB（21～30）.DBB205	M95	M94	M93	M92	M91	M90	M89	M88
VB2500 1012 DB（21～30）.DBB206	—	—	—	—	M99	M98	M97	M96

注：数据块 DB（21～30）适用于 SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统；数据块 VB2500 适用于 SINUMERIK 802D/802Dsl/828D 系统。

4）用于数据处理。现代 PLC 具有整数四则运算（整数/长整数的加、减、乘、除）、矩阵运算、函数运算（平方根、正弦、余弦、正切和自然对数）、字逻辑运算（单字/双字的与、或、异或）、求反、循环、移位（整数、长整数、字或双字的左移与右移）和浮点数运算（实数的加、减、乘、除）等运算功能，以及数据传送、转换、排序、查表、位操作等功能，可完成数据的采集、分析和处理任务。这些数据可与存储在存储器中的参考值进行比较，也可使用通信功能传送至其他智能装置或将它们打印制表。

5）当数控机床的 NC 装置一旦启动，PLC 程序便立即运行，且 PLC 与 NCK 并行运行，PLC 时刻处于扫描机床侧输入信号和强电柜电器元件控制信号执行结果的状态。

6.1.2 PLC 的组成

PLC 既可内装于数控系统中成为 CNC 的一部分，与 CNC 共用一个 CPU，如 SINUMERIK 802D/802Dsl/828D 与 SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统分别采用内置型 S7－200 PLC 和内置型 S7－300 PLC；PLC 也可独立于 CNC 之外（如基于工业计算机平台的特种数控机床使用的独立型 S7－200 PLC、S7－300/400 PLC、OMRON－PLC 和 MISUBISHI－PLC 等），并具有各自独立处理

任务的软件和硬件。通常，独立型PLC由电源模块、CPU模块、I/O输入/输出模块、接口模块、通信模块和功能模块等部件组成（见图6-4）。内置型PLC中不存在CPU模块，而是使用CNC的CPU模块。

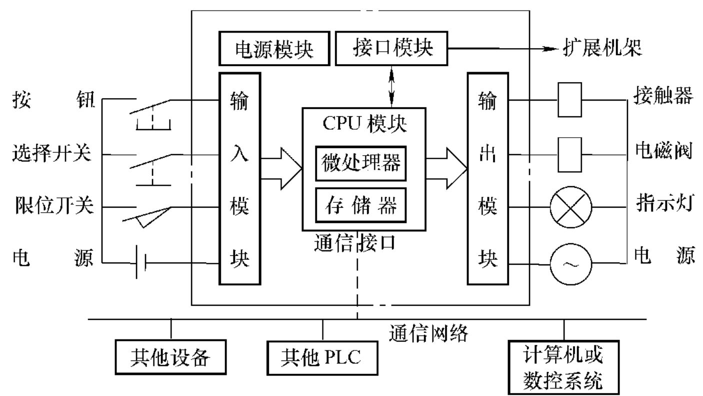


图6-4　独立型PLC的组成及控制系统图

1. 电源模块（PS）

电源模块负责将外界提供的电源转换成PLC的工作电源（一般为AC220V或DC24V）后，供给其他模块和输出模块的负载使用。独立型S7－200 PLC的电源模块与CPU模块和数字I/O模块等部件被紧凑地安装在一个独立的装置中（见图6-5）；S7－300 PLC的电源模块则总是安装在机架的最左侧（占用1个插槽），紧靠在中央机架（Rack0）上CPU模块或扩展机架（Rack1～3）上IM361/IM151等接口模块的左侧（见图6-6），并通过电源连接器或导线与之连接。

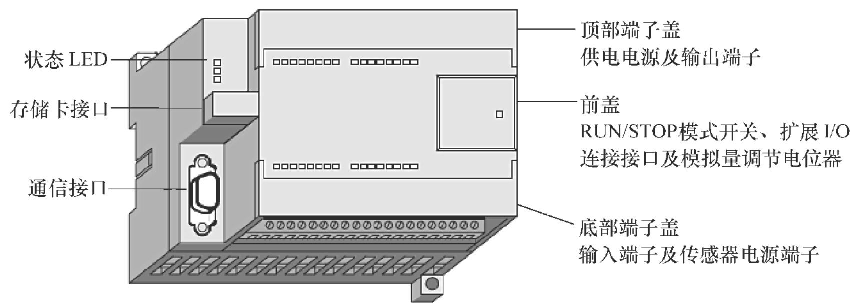


图6-5　独立型S7－200 PLC的外形结构图

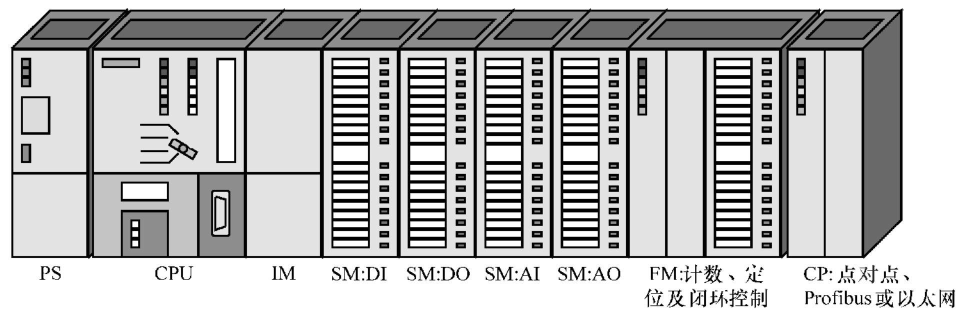


图6-6　独立型S7－300 PLC组成模块的排列图

2. CPU 模块

CPU 模块相当于人的大脑和心脏，负责连续不断地采集输入信号，执行用户程序和刷新系统的输出，主要由微处理器（CPU 芯片）和存储器组成。其中，微处理器负责 PLC 的自检和初始化，与外部设备通信并接收用户程序，对设备状态和用户程序进行诊断与实时运行用户程序；存储器用于存放系统程序、用户程序和相关数据，一般有系统存储器、用户存储器和随机性存储器三种。在 SINUMERIK 系统中，内装于 CNC 中的 S7－200/300 PLC 与 CNC 共用一个 CPU 模块。

1）系统存储器：类似于计算机的硬盘或 USB 设备，用来存储操作系统的程序、用户指令、解释编译程序、诊断程序和通信管理程序等管理性程序。为能长期保存系统程序，大多采用只读性存储器 ROM 或电擦除只读存储器 EPROM。

2）用户存储器：用来存储用户根据生产工艺对象的控制要求而编制的 PLC 应用程序。为方便用户修改和调试 PLC 程序，大多采用随机存储器 RAM。同时，由 CMOS 电池或储能电容做后备电源，以保证 PLC 掉电时不会丢失数据。

3）数据存储器：类似于计算机的内存条，用来存放 PLC 运行过程中生成或调用中间结果数据（如输入/输出元件的状态数据，定时器、计数器的预置值和当前值等）和组态数据（如输入/输出组态、设置输入滤波、脉冲捕捉、输出表配置、定义存储区保持范围、模拟电位器设置、高速计数器配置、高速脉冲输出配置和通信组态等）。由于工作数据与组态数据是不断变化的，故不需要长期保存，大多为随机存储器 RAM。

4）目前，S7－200 PLC 共有 CPU221、CPU222、CPU224 和 CPU226 四种不同的基本型号，包含 10 小类 CPU 模块可供选择使用，各小类又可根据 DC 电源/DC 输入/DC 输出与 AC 电源/AC 输入/继电器输出进一步细分。S7－200 PLC 中 CPU22×（×＝1，2，4，6）系列 CPU 模块的主要技术参数见表 6-2。

表 6-2 S7－200 PLC 中 CPU22×系列 CPU 模块的主要技术参数

S7－200 PLC	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226（XM）
集成 DI/DO	6/4	8/6	14/10	14/10	24/16
最多可扩展数	不可扩展	2 个模块	7 个模块	7 个模块	7 个模块
最大可扩展 DI/DO 范围	不可扩展	78 点	168 点	168 点	248 点
最大可扩展 AI/AO 范围	不可扩展	10 点	35 点	38 点	35 点
用户程序区（在线/非在线）	4KB/4KB	4KB/4KB	8KB/12KB	12KB/16KB	16KB/24KB
数据存储区/KB	2	2	8	10	10
高速计数器	4 个 30kHz	4 个 30kHz	6 个 30kHz	6 个 100kHz	6 个 30kHz
高速脉冲输出	2 个 20kHz	2 个 20kHz	2 个 20kHz	2 个 100kHz	2 个 20kHz
通信接口	1 个 RS485	1 个 RS485	1 个 RS485	2 个 RS485	2 个 RS485
可支持的通信协议	PPI，MPI，自由口	PPI，MPI，自由口，Profibus－DP	PPI，MPI，自由口，Profibus－DP	PPI，MPI，自由口，Profibus－DP	PPI，MPI，自由口，Profibus－DP
外形尺寸/mm	90×80×62	90×80×62	120×80×62	140×80×62	196×80×62

S7－200 PLC	CPU222 CN	CPU224 CN	CPU224XP CN	CPU226 CN
集成 DI/DO	8/6	14/10	14/10	24/16

（续）

S7－200 PLC	CPU222 CN	CPU224 CN	CPU224XP CN	CPU226 CN
最多可扩展数	2个模块	7个模块	7个模块	7个模块
最大可扩展 DI/DO范围	78点	168点	168点	248点
最大可扩展 AI/AO范围	10点	35点	38点	35点
用户程序区/KB	4	8	12	16
数据存储区/KB	2	8	10	10
高速计数器单相	4个20kHz	6个30kHz	4路30kHz 2路200kHz	6个30kHz
高速计数器双相	2路20kHz	4路20kHz	3路20kHz 1路100kHz	4路20kHz
高速脉冲输出	2路20kHz （仅限于DC输出）	2路20kHz （仅限于DC输出）	2路100kHz （仅限于DC输出）	2路20kHz （仅限于DC输出）
通信接口	1个RS485	1个RS485	2个RS485	2个RS485
可支持的 通信协议	PPI，MPI，自由口 Profibus－DP	PPI，MPI，自由口， Profibus－DP	PPI，MPI，自由口， Profibus－DP	PPI，MPI，自由口， Profibus－DP
外形尺寸/mm	90×80×62	120.5×80×62	140×80×62	196×80×62

5）S7－300 PLC的CPU模块可分为紧凑型CPU、标准型CPU、技术功能型CPU、故障安全型CPU和SIPLUS户外型CPU（可在环境温度－25～70℃和有害气体的恶劣环境下运行）。其中，紧凑型CPU包括CPU 312C、CPU 313C、CPU 313C－2PtP、CPU 313C－2DP、CPU 314C－2PtP和CPU 314C－2DP等，标准型CPU包括CPU 312、CPU 313、CPU 314、CPU 315－2DP、CPU 315－2PN/DP、CPU 317－2DP、CPU 317－2PN/DP和CPU 319－3PN/DP等，技术功能型CPU包括CPU 315T－2DP和CPU 317T－2DP等，故障安全型CPU包括CPU 315F－2DP、CPU 315F－2PN/DP、CPU 317F－2DP和CPU 317F－2PN/DP等，SIPLUS户外型CPU包括SIPLUS紧凑型CPU、SIPLUS标准型CPU和SIPLUS故障安全型CPU。S7－300 PLC中紧凑型CPU与标准型CPU的主要技术参数分别见表6-3和表6-4。

表6-3 S7－300 PLC中紧凑型CPU的主要技术参数

紧凑型CPU	312C	313C	313C－2PtP	313C－2DP	314C－2PtP	314C－2DP
数据存储器内存/KB	32	64	64	64	96	96
系统存储器（微存储卡）/MB	最大4	最大8	最大8	最大8	最大8	最大8
位操作时间/μs	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
浮点数运算时间/μs	6	3	3	3	3	3
集成DI/DO	10/6	24/16	16/16	16/16	24/16	24/16
集成AI/AO	—	4＋1/2	—	—	4＋1/2	4＋1/2
位存储器/B	128	256	256	256	256	256
S7定时器/计数器	128/128	256/256	256/256	256/256	256/256	256/256
FB最大块数/大小	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB

（续）

紧凑型 CPU	312C	313C	313C－2PtP	313C－2DP	314C－2PtP	314C－2DP
FC 最大块数/大小	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB	1024/16KB
DB 最大块数/大小	511/16KB	511/16KB	511/16KB	511/16KB	511/16KB	511/16KB
OB 最大容量/KB	16	16	16	16	16	16
全部 I/O 地址区	1024B/1024B	1024B/1024B	1024B/1024B	1024B/1024B	1024B/1024B	1024B/1024B
I/O 过程映像	128B/128B	128B/128B	128B/128B	128B/128B	128B/128B	128B/128B
最大数字量 I/O 点数	266/262	1016/1008	1008/1008	8192/8192	1016/1008	8192/8192
最大模拟量 I/O 点数	64/64	253/250	248/248	512/512	253/250	512/512
最大机架数/模块总数	1/8	4/31	4/31	4/31	4/31	4/31
通信接口与功能	MPI	MPI	MPI/PtP	MPI/DP	MPI/PtP	MPI/DP

表 6-4　S7－300 PLC 中标准型 CPU 的主要技术参数

标准型 CPU	312	314	315－2DP	315－2PN/DP	317－2DP	319－3PN/DP
数据存储器内存/KB	32	96	128	256	512	1400
系统存储器（微存储卡）/MB	最大 4	最大 8	最大 8	最大 8	最大 8	最大 8
位操作时间/μs	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.01
浮点数运算时间/μs	6	3	3	3	1	0.04
位存储器/B	128	256	2048	2048	4096	8192
S7 定时器/计数器	128/128	256/256	256/256	256/256	512/512	2048/2048
FB 最大块数/大小	1024/16KB	2048/16KB	2048/16KB	2048/16KB	2048/64KB	2048/64KB
FC 最大块数/大小	1024/16KB	2048/16KB	2048/16KB	2048/16KB	2048/64KB	2048/64KB
DB 最大块数/大小	511/16KB	511/16KB	1024/16KB	1024/16KB	2047/64KB	4096/64KB
OB 最大容量/KB	16	16	16	16	64	64
每个优先级的最大局部数据/B	256	512	1024	1024	1024	1024
全部 I/O 地址区	1024B/1024B	1024B/1024B	2048B/2048B	2048B/2048B	8192B/8192B	8192B/8192B
I/O 过程映像	128B/128B	128B/128B	128B/128B	2048B/2048B	2048B/2048B	2048B/2048B
最大数字量 I/O 点数	256/256	1024/1024	16384/16384	16384/16384	65536/65536	65536/65536
最大模拟量 I/O 点数	64/64	256/256	1024/1024	1024/1024	4096/4096	4096/4096
最大机架数/模块总数	1/8	4/32	4/32	4/32	4/32	4/32
内置/通过 CP 的 DP 接口数	0/4	0/4	1/4	1/4	2/4	2/4

3. I/O 输入/输出模块（简称 I/O 模块）

开关量输入模块和输出模块分别简称为 DI 模块和 DO 模块，模拟量输入模块和输出模块分别简称为 AI 模块和 AO 模块，它们是系统的眼、耳、手和脚，是联系外部现场设备和 CPU 模块的桥梁。I/O 模块的任务是将限位开关、操作按键/旋钮、选择开关、继电器触头、光电开关和接近开关等开关量输入信号以及温度传感器、压力开关和流量计等提供的连续变化的模拟量电流、电压或温度输入信号转换成 PLC 标准电平供 CPU 模块进行处理，再将 CPU 模块处理好的弱电输出信号转换成用户设备所要求的强电信号以驱动外部负载——电磁阀、接触器、继电器和指示灯以及调节阀（模拟量）、调速装置（模拟量）、数字显示装置和报警装置等执行元件。其中，

输入模块用来接收和采集现场设备的输入信号，可分为直流输入、交流输入和交直流输入 3 种类型。输出模块用来向外部执行机构输出控制信号，可分为晶体管直流输出（驱动 DC5～30V 的高频小功率负载，多用于电子线路控制）、晶闸管交流输出（驱动 AC85～240V 的高频大功率负载）和适宜低频负载的继电器输出（驱动电动机、电磁阀和信号灯等 DC30V 或 AC250V 的低频负载）3 种类型（见图 6-7）。

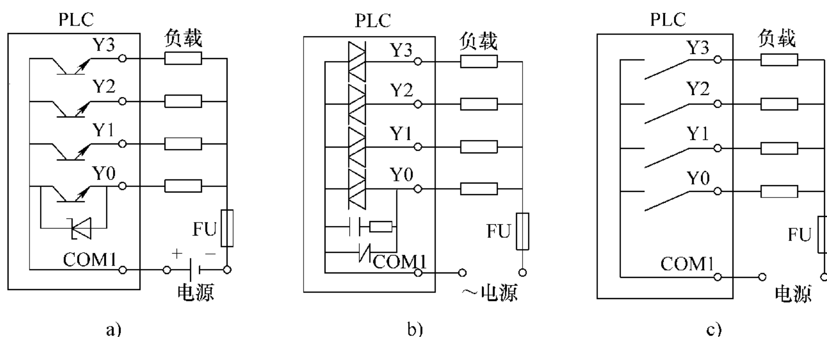


图 6-7　PLC 输出模块的 3 种类型
a）晶体管直流输出模块　b）双向晶闸管交流输出模块　c）继电器输出模块

1）独立型 S7－200 PLC 的数字 I/O 模块与电源模块和 CPU 模块等部件被紧凑地安装在一个独立的装置中。当其 I/O 接口数量不能满足控制系统的要求时，则需对 I/O 模块或特殊功能模块进行 I/O 扩展，扩展模块的数量受 PLC 中 CPU 型号的限制，如 CPU221、CPU222、CPU224 和 CPU226 的 I/O 扩展模块的数量分别为不可扩展、2 块、7 块、7 块。独立型 S7－200 PLC 中的 I/O 扩展模块包括数字量输入扩展模块 EM221（8 路扩展输入）、数字量输出扩展模块 EM222（8 路扩展输出）、数字量输入/输出混合扩展模块 EM223（分为 8 路、16 路和 32 路输入/输出）、模拟量输出扩展模块 EM231（3 路扩展输入）和模拟量输入/输出混合扩展模块 EM235（3 路输入/1 路输出）等。

2）SINUMERIK 系统中内置型 S7－200 PLC 的数字 I/O 模块为 PP72/48 模块、PP72/48D PN 模块和 PP72/48D 2/2A PN 模块。其中，PP72/48 模块可由 3 个独立的 50 芯插槽（X111、X222 和 X333）提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端，在 SINUMERIK 802D 和 802Dsl 系统中的最多配置数量分别为 2 块和 3 块，其 Profibus 总线地址通过 DIP 开关 S1 依次设定为 9、8、7。PP72/48D PN 模块可提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端。PP72/48D 2/2A PN 模块不仅可提供 72 个数字量输入端和 48 个数字量输出端，还可提供 2 个模拟量输入端和 2 个模拟量输出端，在 PPU240/241、PPU260/261 和 PPU280/281 的 SINUMERIK 828D 系统中的最多配置数量分别为 3 块、4 块和 5 块，其 ProfiNET 地址（如 192. 168. 214. n）通过 DIP 开关 S1 依次设定 n = 9、8、7、6、5。

3）S7－300 PLC 的 DI/DO 模块与 AI/AO 模块总称为信号模块 SM。其中，DI/DO 模块包括数字量输入模块 SM321 和 SM421、数字量输出模块 SM322 和 SM422、继电器型输出模块 SM322、数字量输入/输出模块 SM323、ET200 分布式 I/O 设备（基于 Profibus－DP 或 ProfiNET 现场总线）等。AI/AO 模块包括模拟量输入模块 SM331、模拟量输出模块 SM332、模拟量输入/输出模块 SM334 和 SM335、ET200 分布式 I/O 设备等。这些 I/O 模块与电源模块、CPU 模块和接口模块一起被安装在标准导轨（又称机架）上，每个模块占用 1 个安装槽（见图 6-8），并通过 U 形总线连接器实现各模块的互连（除电源模块外）。对于单机架最大连接数目不超过 8 块的数字量 I/O 模块，每个安装槽分配有 32 位（4B）的地址（模块的输入输出点数不足 32 位时，每个安装槽

上的字节地址由小至大使用)，其地址类型取决于所安装的模块类型——输入模块与输出模块时地址类型分别为输入点和输出点，且硬件编址自 I0.0 与 Q0.0 开始（见图 6-9a）。数字量模块起始地址计算公式为：32M +（N－4）×4。式中 M 为机架号且 M＝0～3，N 为槽号且 N＝4～11。对于单机架最大连接数目不超过 8 块的模拟量 I/O 模块，每个模块最多有 8 个通道，硬件编址自 IW256 与 QW256 开始，且每个安装槽为模拟量模块分配有 16 位（即 8 个字）的地址（见图 6-9b）当模拟量模块的通道数不足 16 位时，每个安装槽上的字节地址由小至大使用。模拟量模块起始地址计算公式为：128M +（N－4）×16＋256。式中 M 为机架号且 M＝0～3，N 为槽号且 N＝4～11。就 SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统而言，因其内置 S7－300 的 CPU、机床控制面板（亦可为其他操作部件）占用了 Rack0（中央机架）的地址资源，故外部数字量输入点、输出点的起始地址分别自 I32.0 与 Q32.0 开始。

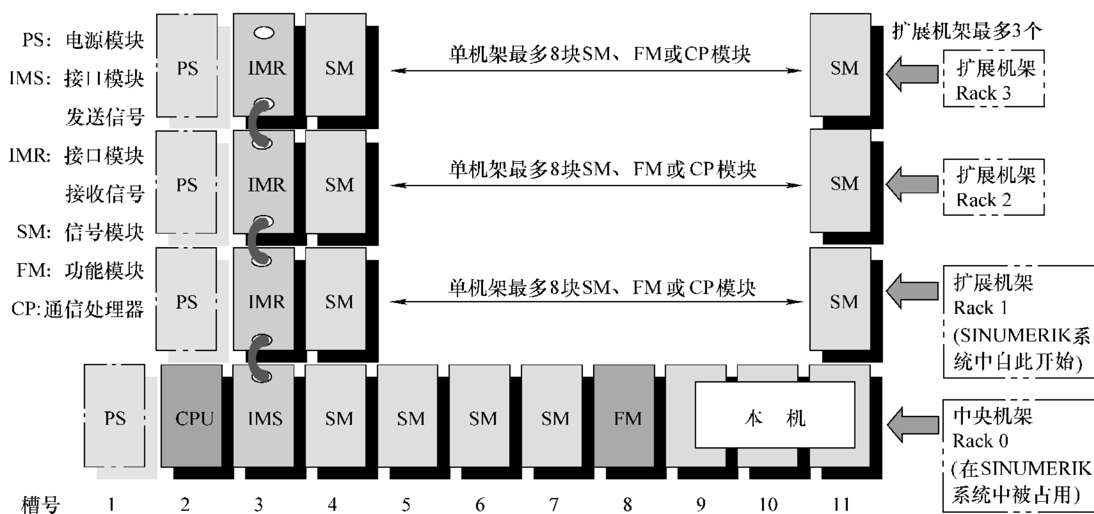


图 6-8 S7－300 PLC 的多机架布置图

4. 接口模块（IM）

因独立型 S7－200 PLC 为集成紧凑式结构，故不存在接口模块。

在模块式结构的 S7－300 PLC 中，接口模块用于多机架配置时连接中央机架（Rack0）和扩展机架（Rack1～3），以实现两者的通信，有的接口模块还可为扩展机架供电。通常，S7－300 PLC 是根据所连接的 I/O 模块类型及现场总线和机架的配置形式来选择接口模块，如接口模块 IM360 和 IM361 分别用以连接多机架 S7－300 PLC 中的 1 个中央机架（Rack0）与 3 个扩展机架（Rack1～3）；接口模块 IM365 用以连接 1 个中央机架（Rack0）和 1 个扩展机架（Rack1）；接口模块 IM151－1 通过 Profibus－DP 总线实现与 ET200S 的通信连接，并有 IM151－1 基本型（RS485）、IM151－1 紧凑型 32DI 直流 24V（RS485）、IM151－1 紧凑型 16DI 直流 24V/16DO 直流 24V（RS485）、IM151－1 标准型（RS485）、IM151－1 标准型（FO）和 IM151－1 高性能型（RS485）六种型号供选用；接口模块 IM151－3 PN（标准型或高性能型）通过 ProfiNET 总线实现与 ET200S 的通信连接；接口模块 IM152－1 通过 Profibus－DP 总线实现与 ET200iSP 的通信连接；接口模块 IM154－1/－2 与 IM154－4 PN 分别通过 Profibus－DP 总线和 ProfiNET 总线使 ET200pro 与上位主站（控制器）之间建立通信连接；接口模块 IM153－1/－2 用以将 ET200M 作为从站连接至 Profibus－DP 网络中。以上各种常用的接口模块如图 6-10 所示。

5. 通信模块（CP）

通信模块用于实现 PLC 之间、PLC 与远程 I/O 之间、PLC 与计算机（含 SINUMERIK 系统）

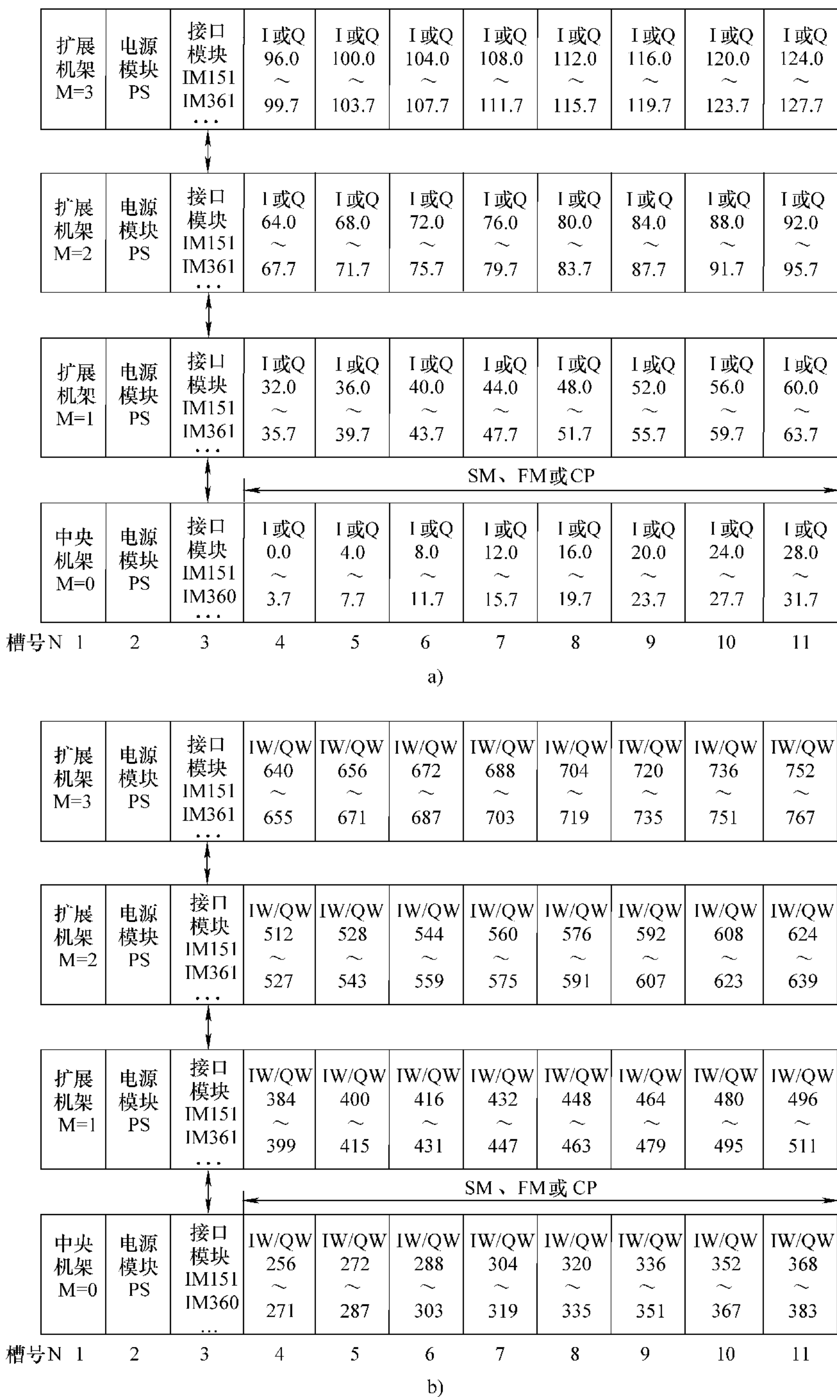


图6-9　多机架的S7－300 PLC中数字量I/O模块与模拟量I/O模块的硬件编址

a）数字量I/O模块的硬件编址　b）模拟量I/O模块的硬件编址

或其他智能设备之间的通信连接，并可将PLC接入工业以太网等网络或进行点对点通信。

1）独立型S7－200 PLC的通信模块包括可将S7－200 PLC连接至Profibus－DP网络的EM277、可将S7－200 PLC通过RJ45接口连接至传输速率为10/100Mbit/s的工业以太网的CP243－1或CP243－1 IT、可将S7－200 PLC（CPU22x）连接至AS－i主站的CP243－2等，而

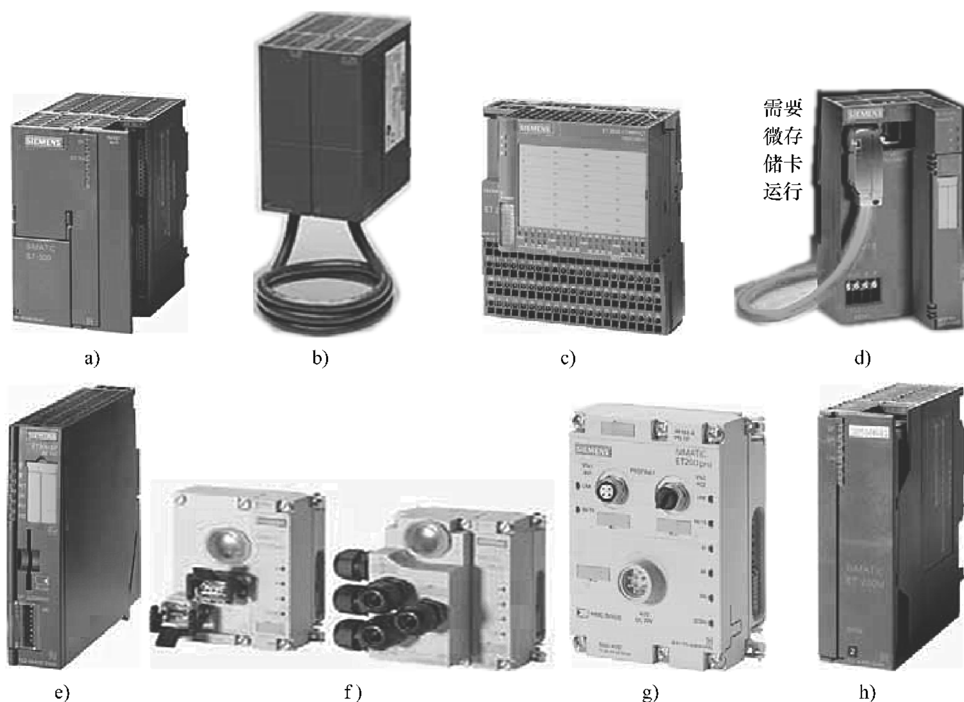


图 6-10 S7 -300 PLC 的常用接口模块

a）IM360/IM361 b）SIPLUS IM365 c）IM151 -1 d）IM151 -3 PN
e）IM152 -1 f）IM154 -1/ -2 g）IM154 -4 PN h）IM153 -1/ -2

SINUMERIK 系统的内置型 S7 -200 PLC 则通过 Profibus - DP 或 ProfiNET 总线与输入/输出模块 PP72/48 实现通信。

2）S7 -300 PLC 的通信模块包括基于 RS232 或 RS485 接口的点到点串行通信模块 CP340、恶劣环境（环境温度 -25 ~70℃及存在有害气体）下基于 RS232 接口的点到点串行通信模块 SIPLUS CP340、可将 S7 -300 PLC 和 ET200M 连接至 AS - i 主站的 CP343 -2、可将 S7 -300 PLC 连接至最大传输速率为 12Mbit/s 的 Profibus - DP 主站或从站的 CP342 -5、可将 S7 -300 PLC 通过 RJ45 接口连接至传输速率为 10/100Mbit/s 的工业以太网的 CP343 -1 IT 等（见图 6-11）。

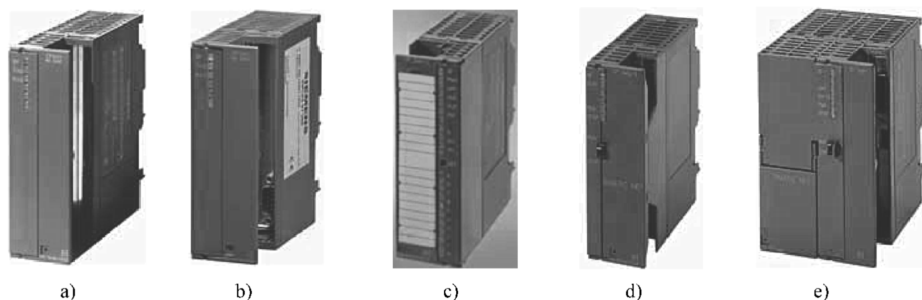


图 6-11 S7 -300 PLC 的常用通信模块

a）CP430 b）SIPLUS CP 340 c）CP343 -2 d）CP342 -5 e）CP343 -1 IT

6. 功能模块（FM）

功能模块是为增强 PLC 的功能、扩大其应用领域和减轻 CPU 负担而开发设计的智能模块，

主要用来完成某些对实时性和存储容量要求很高的控制任务，如高速计数（对现场的高速脉冲信号进行计数，以避免PLC因计数脉冲信号宽度小于其扫描周期而丢失计数脉冲）、位置控制（对步进电动机或伺服电动机进行功率驱动）和闭环控制等。其中，独立型S7－200 PLC的常见功能模块有PID调节模块、高速计数模块、温度传感器模块和位置控制模块EM253等。S7－300 PLC的常见功能模块有FM350－1/－2与CM35计数器模块、FM351双通道定位模块（对动态调节性要求较高的2个独立轴的定位进行控制）、FM352电子凸轮控制器（替代机械式凸轮控制器）、FM353步进电动机定位模块（将脉冲传送至功率为5～600W的步进电动机的驱动器FM StepDRIVE，并用脉冲个数和脉冲频率分别控制移动距离和移动速度）、FM354伺服电动机定位模块（用－10～10V的模拟驱动接口控制伺服驱动器，并用编码器检测的位置数据来修正）、SM338位置输入模块（将最多3个绝对值编码器SSI的信号转换为S7－300所需的数字值，并为编码器提供DC24V电源）、FM355闭环控制模块（对压力、流量和液位等进行控制）、FM355-2温度闭环控制模块等。

6.1.3　PLC的工作原理

数控机床的PLC采用“顺序扫描、不断循环”的工作方式，其工作过程一般包括5个阶段（见图6-12）：上电及内部处理、输入扫描、执行用户程序、输出刷新、诊断及出错处理。PLC型号不同，扫描过程中各步的顺序可能也不同，这是由PLC内部的系统程序所决定的。整个过程——扫描并执行一次所需的时间称为扫描周期或扫描循环时间（Scan Cycle Time），扫描周期与用户程序的长短、指令的种类和CPU执行指令的速度有较大的关系。

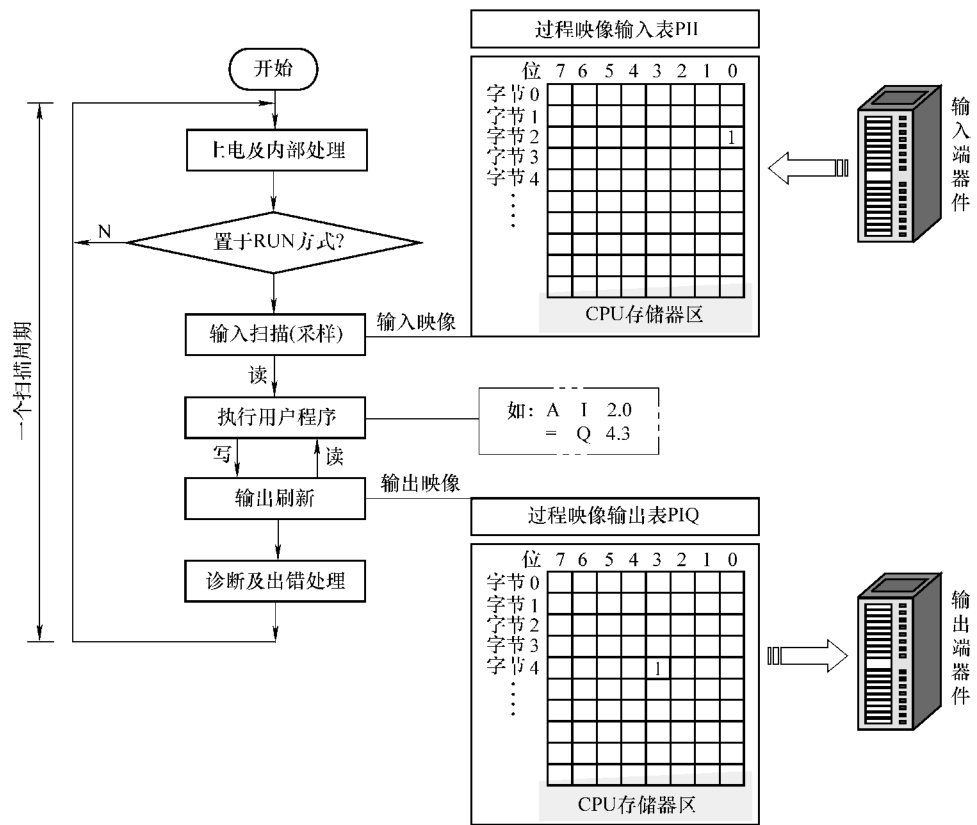


图6-12　PLC的工作原理框图

1. 上电及内部处理阶段

PLC 上电后系统进行初始化，初始化包括硬件的初始化、I/O 模块的检查和保护设定以及其他初始化的处理（如清除没有保持功能的位存储器、定时器和计数器，删除中断堆栈和块堆栈的内容，复位保存的硬件中断和诊断中断等）。S7－300 PLC 上电后或由停止（STOP）方式切换至运行（RUN）方式时，会先执行一次用户生成的启动组织块 OB100，以完成用户指定的初始化操作。在 SINUMERIK 810D/840D 系统的启动组织块 OB100 中，默认调用了功能块 FB1，以实现内置型 S7－300 PLC 与 NCK 在启动过程中的同步，进而保证数控系统能够正常运行。启动组织块 OB100 的内容及主要参数注释（//后的内容为注释）如下：

```
CALL "RUN_ UP",  "gp_ par" FB1 / DB7  //调用功能块 FB1
MCP1Num          : =1                 //MCP 的数量为 1 块
MCP1In           : =P#I 0.0           //第 1 块 MCP 的输入起始地址为 I0.0
MCP1Out          : =P#Q 0.0           //第 1 块 MCP 的输出起始地址为 Q0.0
MCP1StatSend     : =P#Q 8.0           //第 1 块 MCP 发送状态双字
MCP1StatRec      : =P#Q 12.0          //第 1 块 MCP 接收状态双字
MCP1BusAdr       : =6                 //第 1 块 MCP 的 MPI 总线地址
MCP1Timeout      : =S5T#700MS         //第 1 块 MCP 循环扫描的监控时间
MCP1Cycl         : =S5T#200MS         //第 1 块 MCP 循环扫描时间
MCP2In           : =                  //第 2 块 MCP 的输入起始地址为 I0.0
MCP2Out          : =                  //第 2 块 MCP 的输出起始地址为 Q0.0
MCP2StatSend     : =                  //第 2 块 MCP 发送状态双字
MCP2StatRec      : =                  //第 2 块 MCP 接收状态双字
MCP2BusAdr       : =                  //第 2 块 MCP 的 MPI 总线地址
MCP2Timeout      : =                  //第 2 块 MCP 循环扫描的监控时间
MCP2Cycl         : =                  //第 2 块 MCP 循环扫描时间
MCPMPI           : =                  //所有 MCP 经由 MPI 连接
MCP1Stop         : =   //=0 时传送 MCP1 的信号，=1 时停止传送
MCP2Stop         : =   //=0 时传送 MCP2 的信号，=1 时停止传送
MCP1NotSend      : =   //=0 时发送和接收 MCP1 的信号，=1 时接收而不发送信号
MCP2NotSend      : =   //=0 时发送和接收 MCP2 的信号，=1 时接收而不发送信号
MCPSDB210        : =   //所有 MCP 经由 MPI（SDB210）连接
BHG              : =   //=0 时没有手持单元 HU，=1 时 HU 经由 MPI（SDB210）连接
BHGIn            : =   //HU 的输入起始地址
BHGOut           : =   //HU 的输出起始地址
BHGStatSend:     : =   //HU 发送状态双字
BHGStatRec       : =   //HU 接收状态双字
BHGInLen         : =   //HU 接收的数据长度
BHGOutLen        : =   //HU 发送的数据长度
BHGTimeout       : =   //HU 循环扫描的监控时间
BHGCycl          : =   //HU 循环扫描时间
BHGRecGDNo       : =
BHGRecGBZNo      : =
BHGRecObjNo      : =
```

```
BHGSendGDNo          :=
BHGSendGBZNo         :=
BHGSendObjNo         :=
BHGMPI               :=    //=1时HU经由MPI连接
BHGStop              :=    //=0时传送HU信号，=1时HU信号传送停止
BHGNotSend           :=    //=0时发送和接收HU的信号，=1时接收而不发送信号
NCCyclTimeout        :=S5T#200MS     //NC循环扫描的监控时间
NCRunupTimeout       :=S5T#50S       //NC启动扫描的监控时间
ListMDecGrp          :=              //扩展M译码的数量
NCKomm               :=TRUE          //允许NC与PLC间交换数据
MMCToIF              :=              //传送MMC信号至接口
HWheelMMC            :=              //=1时经由MMC选择手轮
MsgUser              :=              //用户信息区的数量
UserIR               :=
IRAuxfuT             :=
IRAuxfuH             :=
IRAuxfuE             :=
UserVersion          :=
MaxBAG               :=              //最大方式组数
MaxChan              :=              //最大通道数
MaxAxis              :=              //最大轴数
ActivChan            :=              //当前生效的通道
ActivAxis            :=              //当前生效的轴
UDInt                :=              //整数格式的PLC机床数据
UDHex                :=              //十六进制格式的PLC机床数据
UDReal               :=              //实数格式的PLC机床数据
```

2. 输入扫描（采样）阶段

PLC在输入采样阶段，以扫描的方式顺序读入所有输入端的通/断状态和输入数据，并将此状态以二进制数据形式存入特定存储器（如CPU存储器区）内的输入映象寄存器（PII），即输入刷新，接着进入程序执行阶段。在程序执行期间，即使输入状态发生变化，输入映象寄存器的内容也不会改变，只有在下一个扫描周期的输入处理阶段才能读入已发生变化的输入状态。

3. 执行用户程序（逻辑扫描处理）阶段

PLC在执行用户程序阶段，按照先左后右、先上后下的固定顺序或用户指定的可变顺序（如待处理的输入/输出点数较多的大型控制系统中采取分时分批扫描方式，以缩短扫描周期及提高控制的实时响应性）扫描用户程序。在此阶段，PLC不仅从输入映像寄存器“读出”所需输入端元件的通/断状态，还根据需要会“读入”某执行元件的输出状态；同时依照用户程序进行逻辑判断和算术运算，其结果存入特定存储器（如CPU存储器区）内的输出映像寄存器（PIQ）。对每个元件而言，输出映像寄存器内所寄存的内容会随用户程序的执行进程而变化。

4. 输出刷新阶段

在所有指令执行完毕（程序扫描结束）后，PLC先将输出映像寄存器中输出继电器的状态由输出刷新阶段转存至输出锁存电路，再传送至实际输出模块以驱动输出线圈（即PLC的实际输出）。输出映像寄存器内的数据由输出指令的执行结果决定，输出锁存电路的数据则由上一刷

新时间输出映像寄存器内的数据决定，输出端器件上的状态由输出锁存电路的数据决定。

5. 诊断及出错处理

PLC 在扫描用户程序的过程中，会随时检查主机硬件、电池电压、程序存储器和模块通信是否存在异常或出错等。

6.1.4 PLC 与 CNC 和 MT 的关系及信号分类

在现代数控机床上，PLC（有的称为 PMC）被用来代替传统机床的基于继电器逻辑原理进行的强电顺序控制，并成为数控装置 CNC 侧与机床侧（包括机床的机械部分、液压、气动、冷却、润滑、排屑等辅助装置，以及机床控制面板、继电器线路和强电回路等）的联系媒介。PLC 既可把数控装置的控制信号传送至机床以使各机械部件按规定顺序动作，也可把机床侧的动作状态信号反馈至数控装置，以便于 CNC（在 SINUMERIK 系统中核心为 NCK）进行后续动作的处理。

（1）SINUMERIK 系统中 S7－200/300 PLC 与 NCK 和 MT 的关系　如图 6-1 所示。

（2）SINUMERIK 系统的 PLC 信号（即常用软元件）

1）机床 MT→PLC 的过程映像输入（I）：在每个扫描周期开始时，CPU 会对 MT 侧的输入点（如限位开关、操作按钮、选择开关、继电器触头、光电开关和接近开关等开关量）进行采样，并将采样结果存入输入映像寄存器内。输入映像寄存器又称输入继电器，是 S7－200/300 PLC 用来接收 MT 侧数字量输入信号的接口，其地址分配以字节（8 位）为单位。当 MT 侧的输入电路接通时，对应的 PLC 输入映像寄存器为“ON”（1 状态）。输入端既可外接常开触点或常闭触点，也可接多个触点组成的串、并联电路。在梯形图中，可以多次引用输入位的常开触点和常闭触点，但不允许引用输入继电器的线圈。

2）PLC→机床 MT 的过程映像输出（Q）：在扫描周期的末尾，CPU 会将输出映像寄存器（又称输出继电器，用于将 S7－200/300 PLC 输出信号传送至负载的接口）内的数据经锁存电路传送给实际输出模块，再由后者驱动 MT 侧的外部负载。例如，梯形图中 Q0.0 的线圈“通电”，继电器型输出模块内对应的硬件继电器的常开触点闭合，使接在标号 Q0.0 输出端子的外部负载工作，从而控制数控机床的电气回路产生动作——主轴正转/反转/停止、机床润滑的启动或停止、切削液的开启或关闭、卡盘的夹紧或松开、ATC 换刀以及按键指示灯点亮等。输出模块内的每一个硬件继电器仅有一对常开触点，但在梯形图中，每一个输出位的常开触点和常闭触点均可多次使用。

3）NCK↔PLC 经由信号接口传递数据：NCK 与 S7－200/300 PLC 间交换的信息（数据）分为两个方向进行，其中 NCK 向 PLC 发送的信息包括功能代码 M/S/T 信息、JOG/AUTO 运行方式信息、各种使能信息等，由 PLC 向 NCK 反馈的信息包括 M/S/T 功能的应答信息、各坐标轴对应的机床参考点信息等。

① 在 SINUMERIK 802D/802Dsl/828 系统中，NCK 与内置 S7－200 PLC 之间的数据传递是通过变量存储器（V）实现的。变量存储器主要用于存储变量（见表 6-5），可存放数据运算的中间结果或设置参数，它既可按位（如 V14000000.0）寻址，也可按字节（如 VB14000000）、字（如 VW14000000）或双字（如 VD14000000）为单位进行寻址。

表 6-5　V 变量地址的构成

操作符	数据块号	通道号或轴号	子区号	索引地址
V	00	00	0	000
范围	00～99	00～99	0～9	000～999

② 在 SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统中，NCK 与内置 S7－300 PLC 之间的数据传递是

通过数据块寄存器（DB）实现的。例如，操作者单击MCP483C上的［AUTO］按键时，MT侧向S7－300 PLC输入AUTO按键信号I0.0。S7－300 PLC接收到I0.0并进行逻辑处理后，经由接口DB11.DBX0.0向NCK传送AUTO方式选择信号。NCK读取该方式选择信号后，会通过接口DB11.DBX6.0向S7－300 PLC反馈AUTO操作方式有效信号，以使PLC继续其他与之相关的逻辑处理（如点亮［AUTO］按键的指示灯）。数据块寄存器既可按数据位（如DB33.DBX64.7）寻址，也可按数据字节（如DB136.DBB108）、数据字（如DB136.DBW108）或数据双字（如DB136.DBD108）为单位进行寻址。

4）位存储器（M）：位存储器又称为通用辅助继电器，用于保存控制逻辑的中间操作状态或其他信息，其作用相当于继电器控制中的中间继电器。通用辅助继电器在S7－200/300 PLC中没有输入/输出端与之对应，其线圈的通断状态只能在程序内部用指令驱动，其触点不能直接驱动外部负载，只能在程序内部驱动输出继电器的线圈，再用输出继电器的触点去驱动外部负载。位存储器在S7－200/300PLC中的应用如图6-13所示。

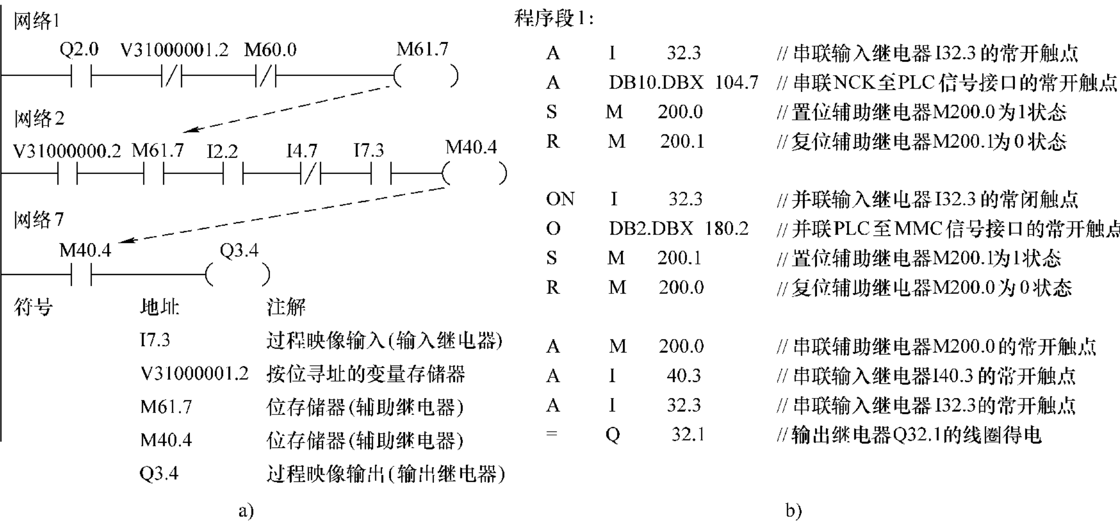


图6-13　位存储器在S7－200/300 PLC中的应用

a）S7－200 PLC的梯形图（LAD）编程　b）S7－300 PLC的语句表（STL）编程

5）定时器（T）：定时器相当于继电器控制系统中的时间继电器，用于时间累计。每个定时器可提供无数对常开触点和常闭触点供编程使用，其工作时间（即延时时间）由程序设置。

6）计数器（C）：计数器用于累计计数输入端接收到的由断开到接通的脉冲个数，分为加计数器、减计数器和加减计数器三种。计数器可提供无数对动合触点和动断触点供编程使用，其设定值由程序赋予。

7）累加器（ACx与ACCUx）：累加器是用来暂存数据的寄存器，可用于存放运算数据、中间数据和结果。累加器的可用长度为32位，可采用字节、字或双字的存取方式。处理字节（8位）或字（16位）时，数据只能存放于累加器的低8位或低16位（右对齐）。S7－200 PLC有4个32位的累加器，其地址编号为AC0～AC3。S7－300 PLC有2个32位的累加器，其地址编号为ACCU1和ACCU2。

8）局部数据寄存器（L）：在S7－200 PLC中，主要用来存放局部变量（即仅与特定程序相关联的局部有效的变量）。在S7－300 PLC中，用来存储逻辑块（OB、FB或FC）中所使用的临时数据，一般用做中间暂存器，当逻辑块执行结束时数据自然丢失。局部数据寄存器既可按局部

数据位（L）存取，也可按局部数据字节（LB）、局部数据字（LW）或局部数据双字（LD）存取。

9）S7－200 PLC 的特殊标志位存储器（SM）：特殊标志位存储器又称为特殊辅助继电器，可提供大量的状态和控制功能，用来在 CPU 和用户程序之间交换信息。部分特殊标志位存储器及其作用见表 6-6。

表 6-6　S7－200 PLC 的部分特殊标志位存储器及其作用

序号	SM 位	作　用
1	SM0．0	S7－200PLC 运行时，该标志位始终为 1 状态
2	SM0．1	S7－200 PLC 首次扫描循环时，该标志位为 1 状态，以后为 0 状态，用途之一是初始化程序
3	SM0．2	缓冲区数据丢失，该标志位仅在第一个扫描循环时打开。“0”为数据未丢失，“1”为数据已丢失。该标志位可用做错误内存位或激活特殊启动顺序的机制
4	SM0．3	自电源开启进入运行（RUN）模式时，该标志位为第一个扫描循环打开（1 状态），后面循环为 0 状态。它可用于在启动操作之前提供机器预热时间
5	SM0．4	提供 1min 时钟脉冲，此脉冲在 1min 的周期时间内 30s 为关闭（OFF），30s 为打开（ON）
6	SM0．5	提供 1s 时钟脉冲，此脉冲在 1s 的周期时间内 0.5s 为关闭（OFF），0.5s 为打开（ON）
7	SM0.6	S7－200 PLC 的扫描循环时钟，本次扫描打开，下一次扫描关闭。它可用做扫描计数器的输入
8	SM0.7	表示“模式”开关的当前位置（关闭为“终止”位置，打开为“运行”位置）。开关位于运行（RUN）位置时可用该标志位启用自由端口模式，也可使用转换至“终止”位置的方法来重新使 PC/PG 正常通信
9	SM1.0	执行某些指令使操作结果为 0 时，该标志位为打开（ON）
10	SM1.1	执行某些指令出现结果溢出或检测到非法数字值时，该标志位为打开（ON）
11	SM1.2	执行某些指令产生数字操作负结果时，该标志位为打开（ON）

10）S7－300 PLC 的外部输入寄存器（PI）与外部输出寄存器（PQ）：用户既可通过外部输入寄存器直接访问模拟量输入模块，以便接受现场温度传感器、压力开关和流量计等提供的连续变化的模拟量输入信号，也可通过外部输出寄存器直接访问模拟量输出模块，以便将模拟量输出信号送给现场的控制执行器。可按字节（PIB 或 PQB）、字（PIW 或 PQW）或双字（PID 或 PQD）进行访问，但不能以位（PI 或 PQ）为单位访问。外部输出寄存器在 S7－300 PLC 中的应用如图 6-14 所示。

```
CALL  FC   106                      // 调用功能程序FC106 以控制砂轮电动机的变频速度
    IN          :=MD348             // 输入位存储器 MD348(双字为单位)的数据
    HI_LIM   :=1.475000e+003        // 最高速度为1475r/min
    LO_LIM  :=0.000000e+000         // 最低速度为0
    BIPOLAR :=FALSE                 // 信号传送为单向
    RET_VAL :=MW50                  // 保存执行时可能出现的错误代码，为0时无错误
    OUT        :=PQW464             // 以外设输出字形式直接访问模拟量输出模块SM332
                                    // SM332装在扩展机架1的槽号9处(PQW464～PQW479)
```

图 6-14　外部输出寄存器在 S7－300 PLC 中的应用

6.2　S7－200/300 PLC 的编程语言与指令系统

6.2.1　Step7 的编程语言

PLC802 是 SINUMERIK 802D/802Dsl/828D 系统中内置型 S7－200 PLC 的编程工具，它基于 Step7－Micro/WIN 32 基础开发，使用梯形图（LAD）语言编程并可转化为语句表（STL）显示，可将 PLC802 理解为 SIMATIC S7－200 的一个子集。后续所介绍的 S7－200 PLC 的有关指令，指的是适合于 PLC 802 的指令。

Step7 是 SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统中内置型 S7－300 PLC 的编程软件，但必须在 Step7 的基础上再安装 Toolbox 工具盘内的 PLC 基本程序等内容（见图 6-15，图中 1 为 PLC 基本程序，必须安装，且应与 CCU/NCU 系统软件的版本相对应。2 为 Step7 软件安装的 SINUMERIK 系统硬件信息，必须安装。3 为 NC 变量选择器，仅在用到 PLC 读写 NC 变量的功能（如 FB2/FB3）时才安装。4 为 PLC 符号生成器，可不安装）。Step7 的标准版可支持梯形图（LAD）、语句表（STL）及功能块图（FBD）三种基本编程语言，并且在 Step7 中可以相互转换。Step7 的专业版可附加支持顺序功能图（S7－GRAPH）、结构化控制语言（S7－SCL）、图形编程语言（S7－HiGraph）及连续功能图（S7－CFC）等编程语言，以供不同知识背景的用户选用。

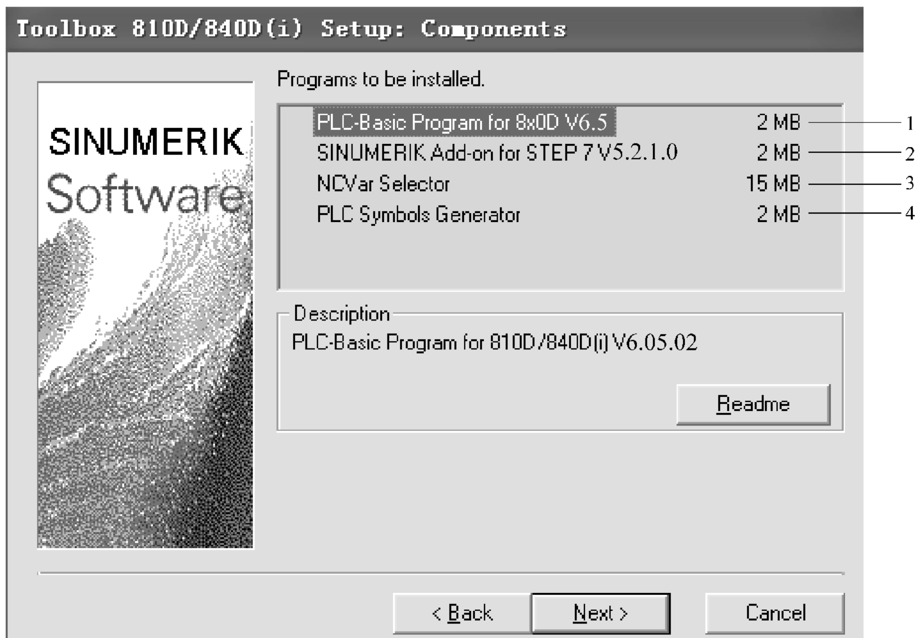


图 6-15　SINUMERIK 810D/840D（i）系统 Toolbox 工具盘的安装画面

1. 梯形图（LAD）

梯形图是使用最多的一种 PLC 图形编程语言，它与继电器控制电路图的表达方式极为相似，具有直观易懂的优点，适合于熟悉继电器控制的用户使用，特别适用于数字量逻辑控制。梯形图由触点、线圈和用方框表示的指令框组成（见图 6-16）。其中，触点代表逻辑输入条件，如外部的开关、按钮或内部条件等；线圈通常代表逻辑运算的结果，常用来控制外部的负载和内部的标志位等；指令框用来表示定时器、计数器或数学运算等附加指令。

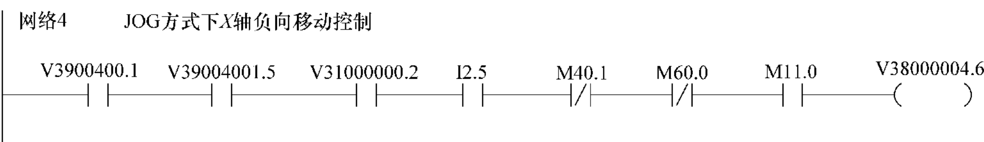


图 6-16 S7-200 PLC 的梯形图编程示例

2. 语句表（STL）

语句表是一种类似于计算机汇编语言的文本编程语言，它由多条语句组成一个程序段。语句表比较适合经验丰富的用户及设计通信与数学运算等高级应用程序的编程场合使用，可以实现某些不能用梯形图或功能块图表示的功能。语句表编程示例如图 6-17 所示。

```
程序段1：PLC向NCK传送停止进给信号和主轴停止信号
// 按[Feed Stop]键或压下急停按钮时PLC向NCK传送停止进给信号
    O     M   100.0              // 并联M100.0的常开触点
    ON    I    32.3              // 并联I32.3的常闭触点
    =     DB21.DBX  6.0          // 赋值为1状态并输出至NCK
// 按[SP Stop]键或压下急停按钮时PLC向NCK传送主轴停止信号
    O     M   100.1              // 并联M100.1的常开触点
    ON    I    32.3              // 并联I32.3的常闭触点
    =     DB34.DBX  4.3          // 赋值为1状态并输出至NCK
```

图 6-17 语句表编程示例

3. 功能块图（FBD）

功能块图使用类似于布尔代数的图形逻辑符号来表示控制逻辑，一些复杂的功能（如数学运算功能等）用指令框表示，它比较适合于有数字电路基础的用户使用。功能块图用类似与门、或门的方框表示逻辑运算关系，方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量，输入、输出端的小圆圈表示“非”运算，方框被“导线”连接在一起，信号自左向右流动。功能块图编程示例如图 6-18 所示。

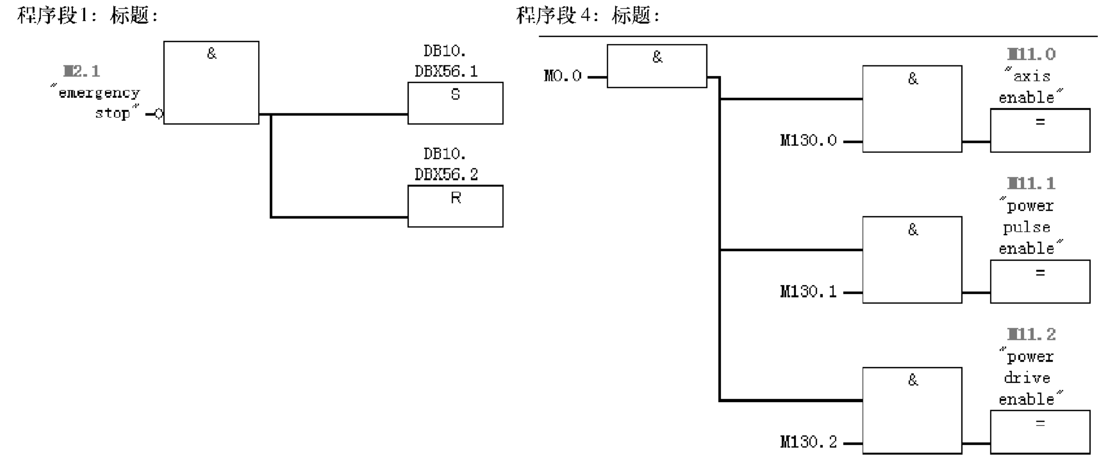


图 6-18 功能块图编程示例

4. 顺序功能图（S7-Graph）

Step7 的顺序功能图类似于解决问题的流程图，编程时把工艺过程划分为若干个按顺序出现的步，步中包含控制输出的动作，从一步到另一步的动作由转换条件控制。用 S7-Graph 表达复

杂的顺序控制过程会非常清楚，用于编程与故障诊断也会更为有效。图6-19中的两条运输带顺序相连，为了避免被运送的物料在1号运输带上堆积，起动时应先起动1号运输带（在步M0.1处用置位指令S使Q1.0为1状态并保持至步M0.3），延时6s后自动起动2号运输带。停机时应尽量将运输带上的余料清理干净，以免物料在运输带上堆积并使下一次起动处于轻载状态。停机的顺序与起动的顺序相反，也就是按了停止按钮后先停止2号运输带，5s后再停止1号运输带（在步M0.0处用复位指令R使Q1.0为0状态）。

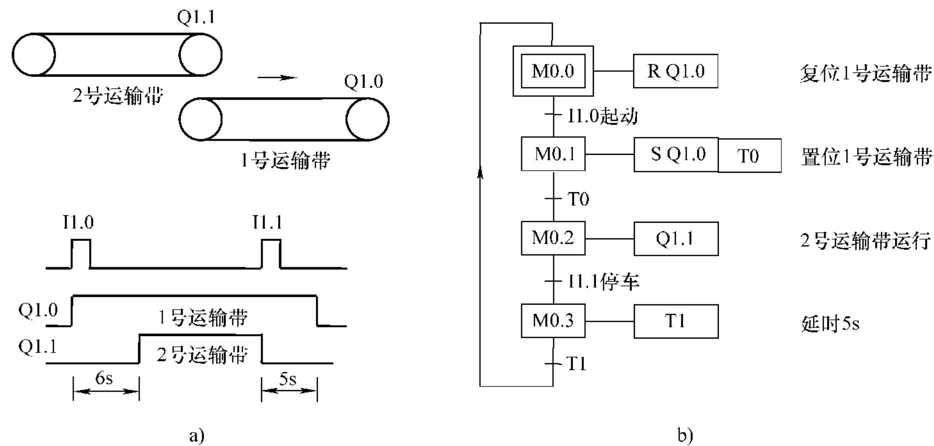


图6-19　运输带控制系统示意图及其顺序功能图
a）运输带控制系统示意图　b）顺序功能图

5. 结构化控制语言（S7-SCL）

Step7的结构化控制语言是符合IEC 61131-3标准的高级文本语言，其语言结构与计算机的编程语言Pascal相似。它既可用于复杂的计算任务和最优化算法，又可用来管理大量的数据等。S7-SCL的编程示例如下：

```
FUNCTION_ BLOCK Integrator              //功能块集成
VAR_ INPUT
    Init     : BOOL;                    //复位输出值
    x        : REAL;                    //输入实数（32位浮点数）
    Ta       : TIME;                    //采样间隔（单位ms）
    Ti       : TIME;                    //积分时间（单位ms）
    olim     : REAL;                    //输出值的上限
    ulim     : REAL;                    //输出值的下限
END_ VAR

VAR_ OUTPUT
    y        : REAL: =0.0;              //输出值初始化为0.0
END_ VAR

BEGIN
    IF TIME_ TO_ DINT(Ti) =0 THEN //如果积分时间Ti=0程序继续执行
          OK: =FALSE;                   //不进行分配
```

```
        y： =0.0；                    //输出值为 0.0
        RETURN；                      //返回
    END_ IF；                         //结束 IF 循环
    IF Init THEN                      //如果输出值被复位，程序继续执行
        y： =0.0；                    //输出值为 0.0
    ELSE                              //输出值未被复位，则执行以下语句
        y： =y + TIME_ TO_ DINT（Ta） * x/TIME_ TO_ DINT（Ti）；
                                      //输出值 = y + 采样间隔 × 实数 x ÷ 积分时间
        IF   y > olim   THEN          //如果输出值大于规定上限，程序继续执行
            y： =olim；               //y > olim 时，输出值等于规定上限
        END_ IF；                     //结束 IF 循环（大于）
        IF   y < ulim   THEN          //如果输出值小于规定下限，程序继续执行
            y： =ulim；               //y < ulim 时，输出值等于规定下限
            END_ IF；                 //结束 IF 循环（小于）
      END_ IF；                       //结束 IF 循环
    END_ FUNCTION_ BLOCK              //功能块结束
```

6. 图形编程语言（S7 – HiGrah）

Step7 的图形编程语言属于可选软件包，它用状态图（State Graphs）来描述异步、非顺序的生产过程，将自动控制下的机器或系统分成若干个功能单元，并为每个单元生成状态图，然后利用信息通信将功能单元组合在一起形成完整的系统。S7 – HiGrah 的编程示例如图 6-20 所示。

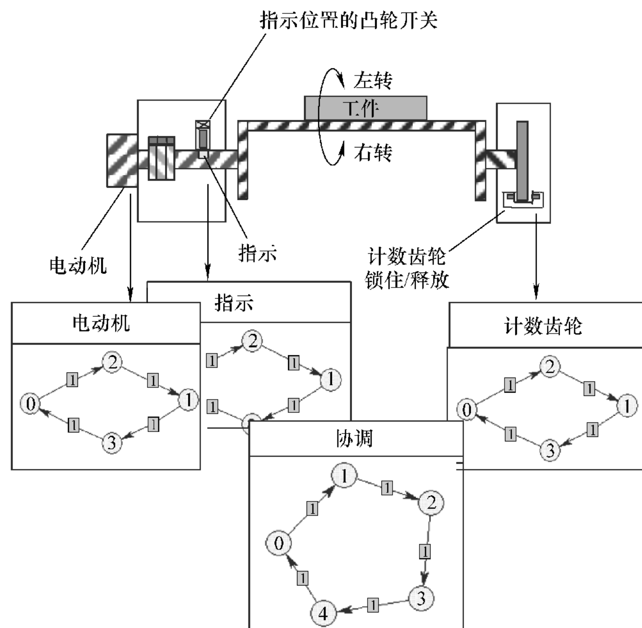


图 6-20 S7 – HiGrah 的编程示例

7. 连续功能图（S7 – CFC）

Step7 的连续功能图类似于功能块图（FBD）的编程，编程时利用图形方式连接程序库中以块形式提供的各种功能（包括简单的逻辑操作甚至复杂的闭环和开环控制），从而使用户快速、简便

地将工艺设计图转化为完整的可执行程序。虚拟工程中S7－CFC编程的输出处理如图6-21所示。

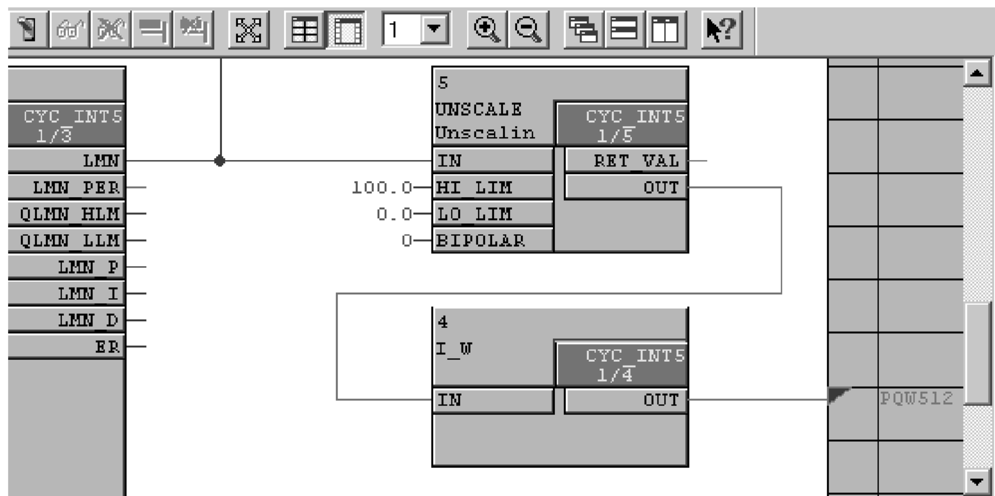


图6-21　虚拟工程中S7－CFC编程的输出处理

6.2.2　基本数据类型

1. 数据的长度

在计算机中使用的都是二进制数，其最基本的存储单位是位（bit），8位二进制数组成1个字节（Byte），其中第0位为最低位（LSB），第7位为最高位（MSB）。2个字节（16位）组成1个字（Word），2个字（32位）组成1个双字（Double Word）。位、字节、字和双字（见图6-22）所占用的连续位数称为长度。

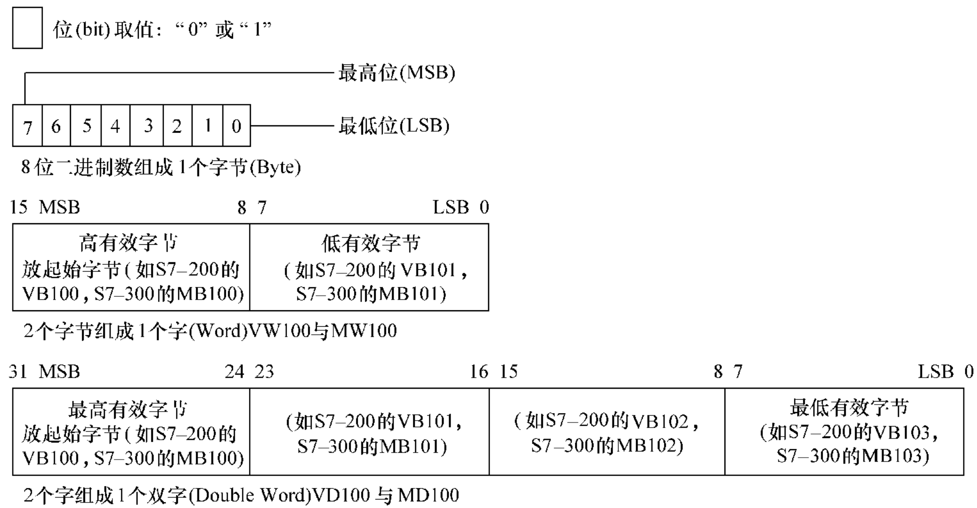


图6-22　S7－200/300 PLC的位、字节、字和双字

二进制数的1位（bit）仅有0和1这两个不同的值，可用其表示开关量（或数字量）的两种不同的状态，如触电的断开和接通、线圈的失电和得电等。若该位为1，则表示梯形图中对应

的软元件（如位存储器和过程映像输出位）线圈为得电状态，其触点为转换状态（即常开触点闭合、常闭触点断开）。若该位为 0，所表示的对应线圈、触点的状态与上述 1 状态时相反。

2. 基本数据类型及数据范围

S7－200/300 PLC 的基本数据类型（决定数据的属性）可以是字符串、布尔型（0 或 1）、整数型和实数型（浮点数）。其中，布尔型数据指字节型无符号整数，整数型数据包括 16 位符号整数（INT）和 32 位符号整数（DINT），实数型数据（REAL）为 32 位单精度数。S7－200/300 PLC 的基本数据类型及数据范围见表 6-7。

表 6-7 S7－200/300 PLC 的基本数据类型及数据范围

类型（关键词）	数据长度（二进制位）	表示形式	取值范围
布尔（BOOL）	1	布尔量	真（1）、假（0）
字节（Byte）	8	十六进制	S7－200：0～FF
			S7－300：B#16#0～B#16#FF
字（Word）	16	无符号十进制	S7－200：0～65535
			S7－300：B#（0，0）～B#（255，255）
		十六进制	S7－200：0～FFFF
			S7－300：W#16##0～W#16#FFFF
双字（Double Word）	32	十六进制	S7－200：0～FFFF_ FFFF
			S7－300：DW#16#0000_ 0000～DW#16#FFFF_ FFFF
整数（INT）	16	有符号十进制数	S7－200/300：－32768～32767
双整数（DINT）	32	有符号十进制数	S7－200/300：－2147483648～2147483647
实数（REAL）	32	IEEE 浮点数	S7－200/300：$\pm 1.175495\times10^{-38}$ ～ $\pm 3.402823\times10^{38}$
时间（TIME）	32	带符号的 IEC 时间，分辨率 1ms	S7－300：－T#_ 24D_ 20H_ 31M_ 23S_ 648MS～T#_ 24D_ 20H_ 31M_ 23S_ 647MS
日期（DATE）	32	IEC 日期，分辨率 1 天	S7－300：D#1990－1－1～D#2168－12－31
实时时间（Time_ Of_ Daytod）	32	实时时间，分辨率 1ms	S7－300：TOD#0：0：0：0～TOD#23：59：59：999
S5 系统时间（S5TIME）	32	S5 时间，以 10ms 为时基	S7－300：S5T#0S～S5T#9990S，格式为 S5T#aD_ bH_ cM_ dS_ eMS（a、b、c、d、e 分别为日、小时、分、秒和毫秒的值，输入时可去掉下划线）

6.2.3 位逻辑指令

位逻辑指令是以“位”为操作数据地址的 PLC 常用基本指令，它能够实现基本的位逻辑运算和控制。

1. 触点串联指令 A（And）、AN（And not）与并联指令 O（Or）、ON（Or not）

在梯形图和语句表中，逻辑“与”指令 A（And）表示串联连接单个常开触点，逻辑“与非”指令 AN（And not）表示串联连接单个常闭触点，逻辑“或”指令 O（Or）表示并联连接一个常开触点，逻辑“或非”指令 ON（Or not）表示并联连接一个常闭触点。A/AN 指令与 O/ON 指令所使用的操作数为 I、Q、M、L、T、C、V 与 SM（仅 S7－200 PLC）、D（仅 S7－300

PLC）。触点串、并联指令在S7－200/300 PLC梯形图和语句表中的使用如图6-23所示。

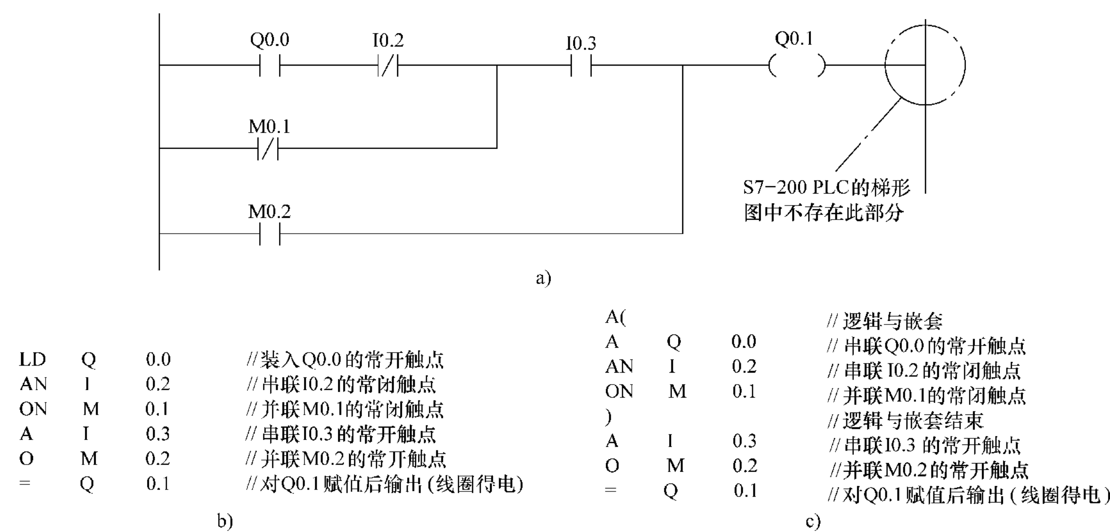


图6-23　触点串、并联指令在S7－200/300 PLC梯形图和语句表中的使用
a）梯形图编程　b）S7－200 PLC的等效语句表编程　c）S7－300 PLC的等效语句表编程

对于常开触点（动合触点），相应的操作数为“1”时触点将由正常状态的常开变为动作状态的闭合，该操作数变为“0”时触点将被复位为正常的常开状态。对于常闭触点（动断触点），相应的操作数为“0”时触点将由正常状态的闭合变为动作状态的断开，该操作数变为“1”时触点将被复位为正常的闭合状态。

2. 电路块的串联和并联

触点的串、并联指令仅能将单个触点与其他触点电路进行串联或并联。

1）若要实现多个串联电路的并联连接，则需要在S7－200 PLC中使用电路块并联指令OLD，或在S7－300 PLC中使用没有地址的逻辑“或”指令O。串联电路Ⅰ与串联电路Ⅱ的并联连接如图6-24所示。

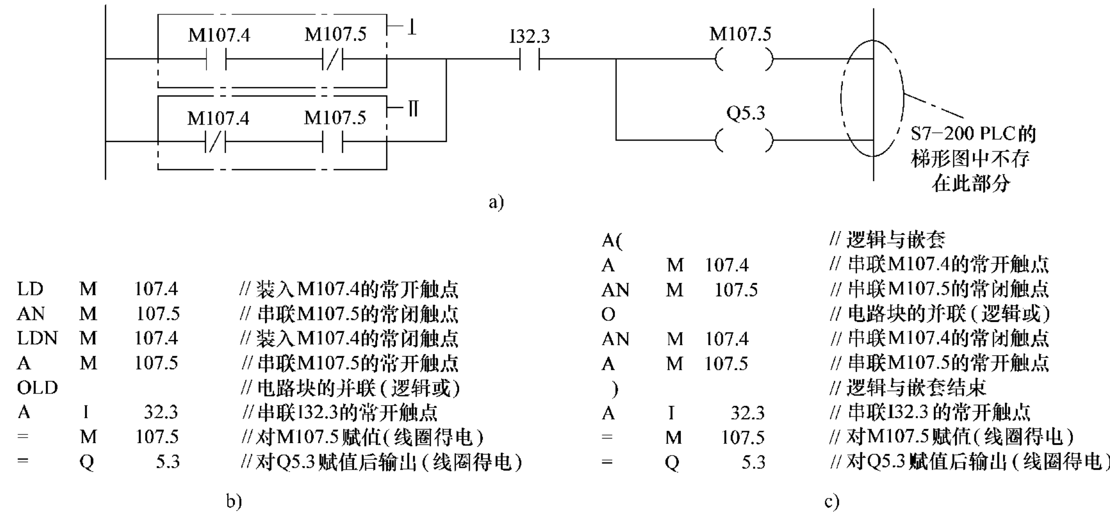


图6-24　电路块并联指令在S7－200/300 PLC梯形图和语句表中的使用
a）梯形图编程　b）S7－200 PLC的等效语句表编程　c）S7－300 PLC的等效语句表编程

2）若要实现多个并联电路的串联连接，则需要在 S7－200 PLC 中使用电路块串联指令 ALD，或在 S7－300 PLC 中使用逻辑与嵌套指令“A（”，嵌套结束时用右括号“）”使与嵌套闭合。并联电路Ⅰ、并联电路Ⅱ与并联电路Ⅲ的串联连接如图 6-25 所示。

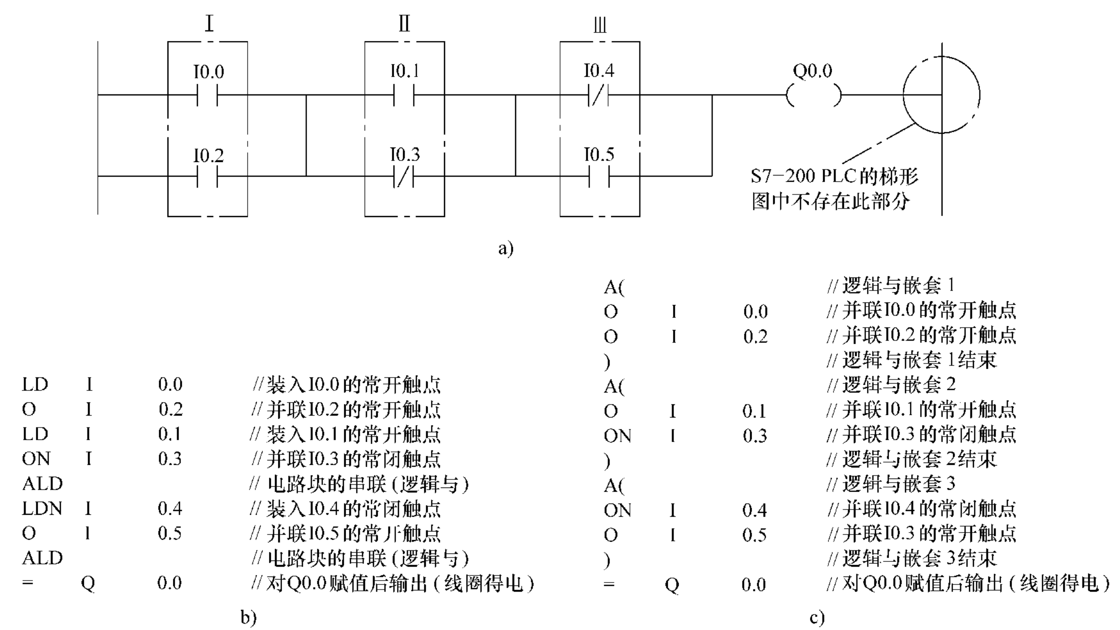


图 6-25 电路块串联在 S7－200/300 PLC 梯形图和语句表中的使用

a）梯形图编程 b）S7－200 PLC 的等效语句表编程 c）S7－300 PLC 的等效语句表编程

在 S7－300 PLC 中，除逻辑与嵌套指令“A（………）”外，有时还会使用到逻辑与非嵌套指令“AN（………）”、逻辑或嵌套指令“O（………）”及逻辑或非嵌套指令“ON（………）”。

3. 线圈驱动（赋值）指令

“＝”是 S7－200/300 PLC 语句表编程时对存储器赋值（运算结果写入指定的地址位）的指令，因其对应于梯形图中程序段最右侧的线圈驱动，故又被称为线圈驱动指令。也就是说，指定的地址位为 1 状态时，对应的驱动线圈（如通用辅助继电器 M 或输出继电器 Q 等）“得电”，其常开触点将闭合而常闭触点将断开。“＝”指令所使用的操作数为 Q、M、T、C、S、V 与 SM（仅 S7－200 PLC）、D（仅 S7－300 PLC）。

4. S7－200 PLC 中的逻辑取指令 LD（Load）与逻辑取反指令 LDN（Load not）

“LD”是 S7－200 PLC 语句表编程时的逻辑取（初始装入）指令，是常开触点逻辑运算的开始，它对应于梯形图中最左侧的母线或线路分支点处初始装入的一个常开触点。“LDN”是 S7－200 PLC 语句表编程时的逻辑取反指令，是常闭触点逻辑运算的开始（即对操作数据的状态取反），它对应于梯形图中最左侧的母线或线路分支点处初始装入的一个常闭触点。LD/LDN 指令所使用的操作数为 I、Q、M、T、C、S、V、SM。

LD/LDN 指令在 S7－200 PLC 中的使用如图 6-25 所示。

5. 置位指令 S（Set）与复位指令 R（Reset）

在 S7－200/300 PLC 中，虽然置位指令 S 的目的均是将地址位置位（变为 1 状态并保持），但前者的 S 指令是使能输入有效后自起始位 S－bit 至第 N 位（N＝0～255）的状态置位，而后者的 S 指令是将指定的地址位置位。复位指令 R 与置位指令 S 相似，其目的均是将地址位复位（变为 0 状态并保持），但 S7－200 PLC 的 R 指令是使能输入有效后自起始位 S－bit 至第 N 位

（N＝0～255）的状态复位，而 S7－300 PLC 的 R 指令是将指定的地址位复位。S/R 指令所使用的操作数为 Q、M、T、C、S、L、V 与 SM（仅 S7－200 PLC）、D（仅 S7－300 PLC）。

S/R 指令在 S7－200 PLC 和 S7－300 PLC 中的使用分别如图 6-26、图 6-27 所示。

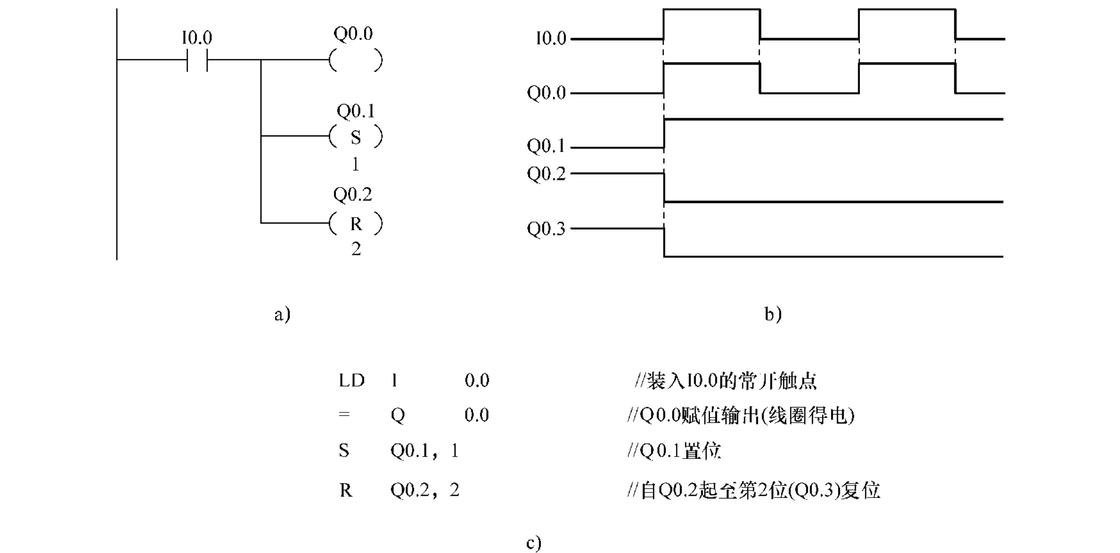


图 6-26　S/R 指令在 S7－200 PLC 中的使用

a）S7－200 PLC 的梯形图编程　b）S/R 指令的时序图　c）S7－200 PLC 的等效语句表编程

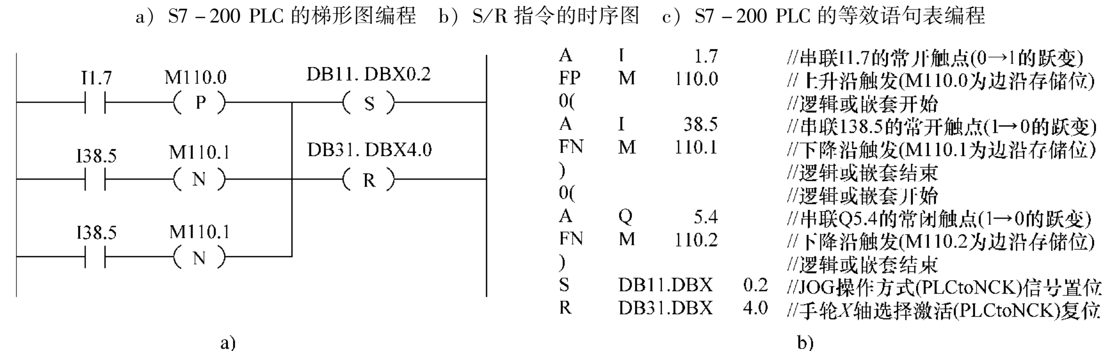


图 6-27　S/R 指令在 S7－300 PLC 中的使用

a）S7－300 PLC 的梯形图编程　b）S7－300 PLC 的等效语句表编程

6. RLO 边沿检测——上升沿触发指令与下降沿触发指令

在 S7－200/300 PLC 的语句表中，上升沿触发（正跳变）指令的助记符分别为 EU（Edge Up）和 FP，下降沿触发（负跳变）的助记符分别为 ED（Edge Down）和 FN。使用时，若正跳变指令前的逻辑运算结果 RLO 有一个上升沿（即由 0→1 的跃变），则产生宽度为一个扫描周期的脉冲，从而驱动后面的输出线圈在该扫描周期内“通电”。若负跳变指令前的逻辑运算结果 RLO 有一个下降沿（即由 1→0 的跃变），则产生宽度为一个扫描周期的脉冲，其后的输出线圈在该扫描周期内“通电”。

上升沿触发指令 EU 与下降沿触发指令 ED 在 S7－200 PLC 中的使用如图 6-28 所示。上升沿触发指令 FP 与下降沿触发指令 FN 在 S7－300 PLC 中的使用如图 6-27 所示。

6.2.4　定时器与计数器指令

1. S7－200 PLC 的定时器指令

定时器是 PLC 常用的编程元件之一，其作用相当于继电器控制系统中的时间继电器，用来

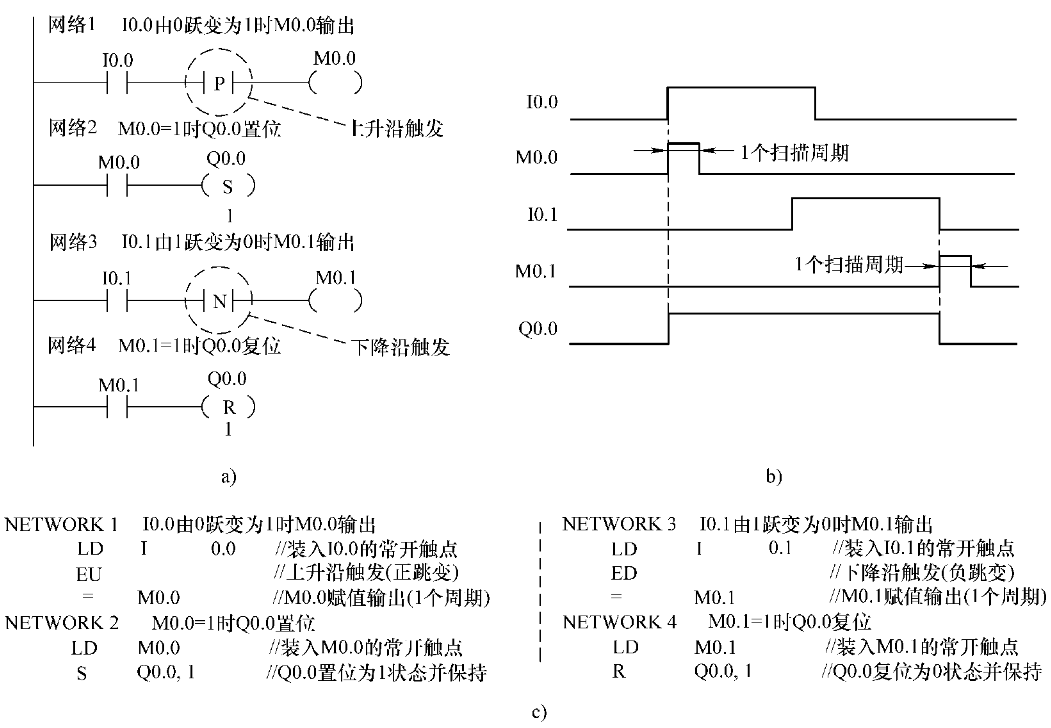


图 6-28 EU/ED 指令在 S7 -200 PLC 中的使用

a) S7 -200 PLC 的梯形图编程 b) EU/ED 指令的时序图 c) S7 -200 PLC 的等效语句表编程

累计时间。S7 -200 PLC 的定时器是利用 PLC 内部的时钟脉冲计数原理进行计时的，按其工作方式的不同，可分为通电延时定时器（TON）、记忆型通电延时定时器（TONR）和断开延时定时器（TOF）三大类（见表 6-8）。

表 6-8 S7 -200 PLC 定时器的分类及其指令格式

序号	定时器类型	LAD 指令格式	STL 指令格式	适用场合
1	通电延时定时器	???? IN TON ???? PT	TON T * *, PT	用于单一间隔的定时
2	记忆型通电延时定时器	???? IN TONR ???? PT	TONR T * *, PT	用于累计时间间隔的定时
3	断开延时定时器	???? IN TOF ???? PT	TOF T * *, PT	用于关断或故障事件发生后的时间延时

注：1. IN 为使能输入端；指令盒（Box）的上方输入定时器的编号 T * *，范围为 T0 ~ T255；PT 是预置值输入端，最大预置值为 32767；IN、PT 的数据类型分别为 BOOL 和 INT。

2. PT 的操作数有：IW、QW、MW、SMW、T、C、LW、VW、SW、AC、常数。

1）定时器的分辨率（又称时基）：在 S7 -200 PLC 中，定时器的分辨率决定着每个时间间隔的长短（即定时精度）、定时范围和定时器的刷新方式，而其分辨率又与定时器的编号有关。

通常有1ms、10ms和100ms三种分辨率的定时器（见表6-9）。当定时器的使能输入（IN端）有效后，当前值PT对S7-200 PLC内部的时基脉冲计数增加1；当计数值大于或等于定时器的预置值后，状态位置“1”。其中，自定时器的使能输入有效至状态位输出有效所经过的时间，即为定时时间t（t=预置值×分辨率）。

表6-9　S7-200 PLC定时器的编号及其分辨率

定时器类型	分辨率/ms	最大定时范围/s	定时器编号
TONR（可保持）	1	32.767	T0，T64
	10	327.67	T1~T4，T65~T68
	100	3276.7	T5~T31，T69~T95
TON，TOF（不可保持）	1	32.767	T32，T96
	10	327.67	T33~T36，T97~T100
	100	3276.7	T37~T63，T101~T255

注：分辨率越大，定时时间越长，但精度越差。

2）不同分辨率的定时器刷新方式：分辨率为1ms的定时器，每隔1ms刷新一次，与扫描周期和程序处理无关，即采用中断刷新方式。因此，当扫描周期较长（大于1ms）时，在一个扫描周期内定时器位和当前值会被刷新多次。分辨率为10ms的定时器，由系统在每个扫描周期开始时自动刷新。因其每个扫描周期内只刷新1次，故每次程序处理期间，定时器位和当前值为常数。分辨率为100ms的定时器，是在执行此定值器指令时开始刷新，下一条执行的指令，即可使用刷新后的结果。

3）S7-200 PLC定时器的工作原理：

① 通电延时定时器TON（见图6-29）：当I0.0接通时，使能端（IN）输入有效，定时器T37开始计时，其当前值自0开始递增，计时至预置值PT时，T37的状态位接通并使常开触点闭合，从而驱动Q0.0输出（线圈得电）。其后，当前值在不影响状态位的情况下继续增加，直至计时至最大值32767才停止。当I0.0断开时，使能端（IN）无效，T37复位，当前值清0，状态位也清0，即定时器恢复原始状态。若I0.0接通时间未到达预置值就断开，则T37立即复位，Q0.0无输出。

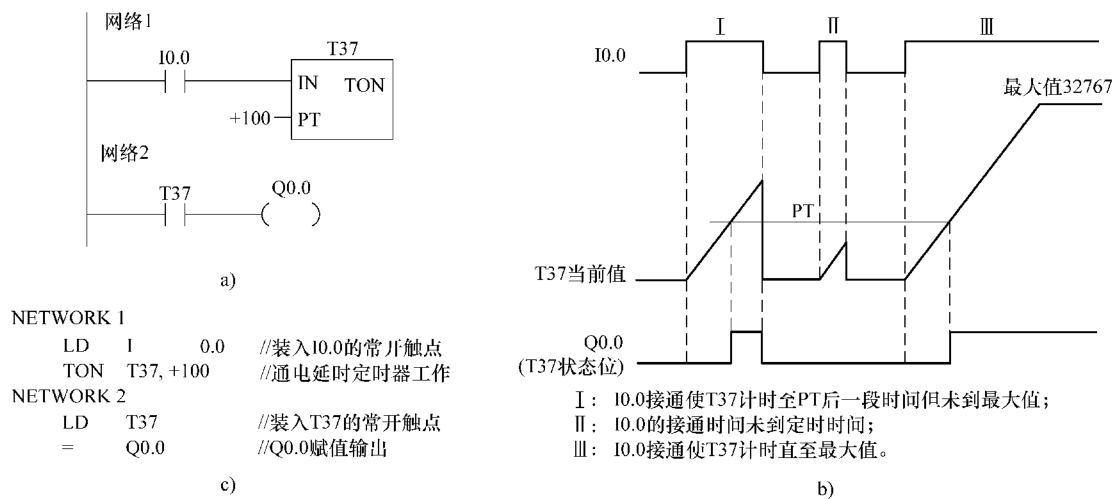


图6-29　通电延时定时器在S7-200 PLC中的应用

a）S7-200 PLC的梯形图编程　b）时序图　c）S7-200 PLC的等效语句表编程

② 记忆型通电延时定时器 TONR（见图 6-30）：当 I0.0 接通时，使能端（IN）输入有效，定时器 T3 开始计时，其当前值自 0 开始递增。当前值大于或等于预置值 PT 时，T3 的状态位接通并使常开触点闭合，从而驱动 Q0.0 输出（线圈得电）。当使能端输入无效（I0.0 断开）时，T3 的当前值处于记忆保持状态。当使能端再次接通时，T3 的当前值在原有记忆值的基础上开始递增计时，当前值大于或等于预置值 PT 时，T3 状态位接通而驱动 Q0.0 输出。若要将定时器的当前值清 0，必须执行复位命令 R。

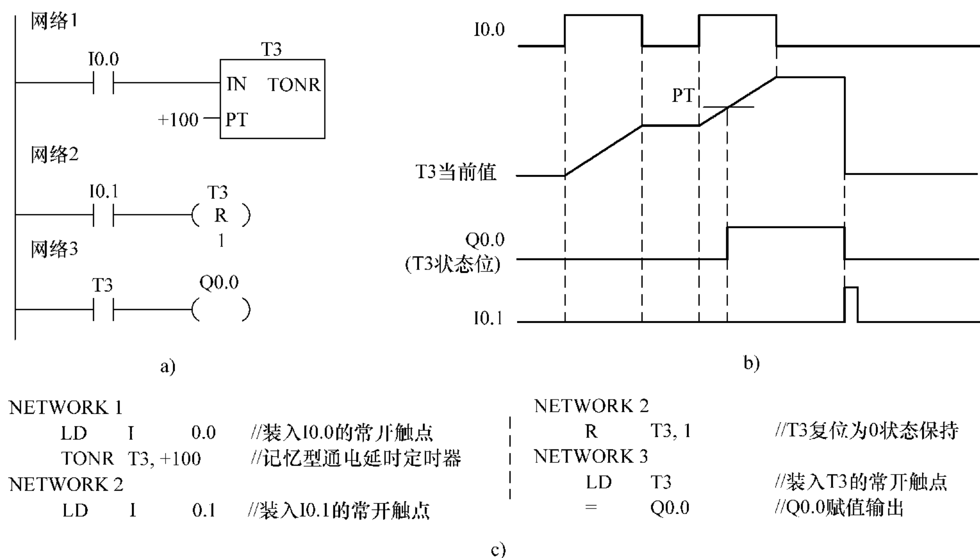


图 6-30 记忆型通电延时定时器在 S7－200 PLC 中的应用

a）S7－200 PLC 的梯形图编程 b）时序图 c）S7－200 PLC 的等效语句表编程

③ 断开延时定时器 TOF（见图 6-31）：当 I0.0 接通时，使能端（IN）输入有效，定时器 T37 的状态位立即接通，当前值复位为 0。当使能端由接通转为断开时，T37 开始计时，其当前值自 0 开始递增。计时至预置值 PT 时，T37 的状态位复位为 0 并停止计时，当前值保持。若输入断开的时间未到达预置值，则定时器的状态位保持接通，在下一次输入断开后，定时器自 0 开始重新计时直至到达预置值。

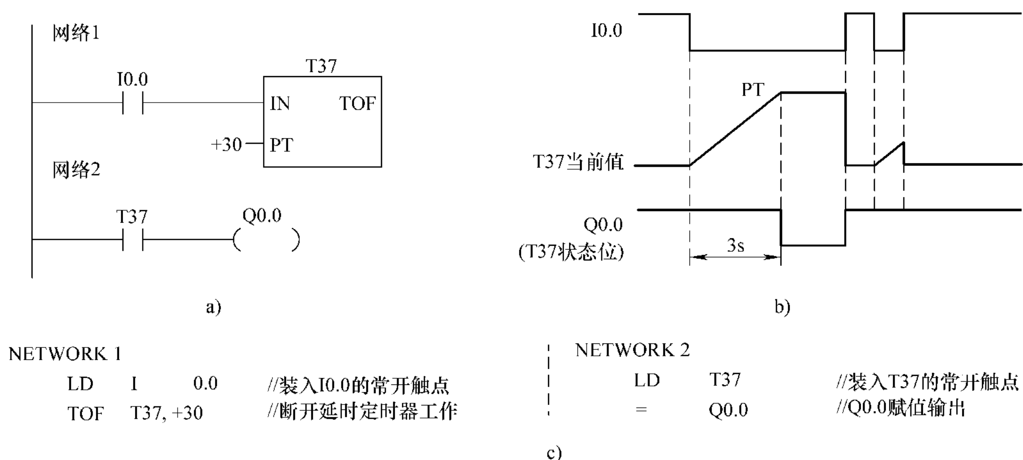


图 6-31 断开延时定时器在 S7－200 PLC 中的应用

a）S7－200 PLC 的梯形图编程 b）时序图 c）S7－200 PLC 的等效语句表编程

2. S7－200 PLC 的计数器指令

计数器的运行原理与定时器（对 PLC 内部的时钟脉冲计数而实现时间计量）基本相同，只是计数器对外部或内部的由程序产生的计数脉冲进行计数。S7－200 PLC 有加计数器 CTU（Count Up）、减计数器 CTD（Count Down）和加减计数器 CTUD（Count Up/Down）三种类型（见表 6-10），它们均可提供无数对动合触点和动断触点供编程使用。

表 6-10　S7－200 PLC 计数器的分类及其指令格式

序号	计数器类型	LAD 指令格式	STL 指令格式	工作原理
1	加计数器	Cn CU　CTU R PV	CTU Cn，PV	通过获取计数输入信号的上升沿进行加法计数。复位端（R）信号为 1 时，CTU 的当前值 SV 及 CTU 状态均为 0；R 信号为 0 时，CTU 工作。当一个输入脉冲到来时，SV = SV + 1；待 SV ≥ PV 时，CTU 状态变为 1 并开始脉冲计数，SV 不断累加直至最大值 32767 而停止计数；若 R 信号到来，SV = 0、CTU 状态变为 0
2	减计数器	Cn CD　CTD LD PV	CTD Cn，PV	通过获取计数输入信号的上升沿进行减法计数，且仅在当前值 SV = 0 时 CTD 状态才为 1。装载输入（LD）信号为 1 时，PV 被装入 CTD 的当前值寄存器，此时 SV = PV 且 CTD 状态为 0；当 LD 信号为 0 时，CTD 工作。当一个输入脉冲到来时，SV = SV－1；待当前值等于 0 时，CTD 状态变为 1 并停止计数；直至 LD 信号变为 1 而再一次装入 PV 值后，CTD 状态变为 0 并重新计数
3	加减计数器	Cn CU　CTUD CD R PV	CTUD Cn，PV	具有加计数和减计数两个输入端，通过获取对应计数输入信号的上升沿进行加法、减法计数。复位端（R）信号为 1 时，CTUD 的当前值 SV 及 CTUD 状态均为 0；当 R 信号为 0 时，CTUD 开始工作。当一个加计数输入脉冲或减计数输入脉冲到来时，CTUD 的工作分别与 CTU 和 CTD 相同

注：1. Cn 为计数器编号（n = 0 ~ 255），CU、CD 分别为加计数脉冲输入端和减计数脉冲输入端，LD 为减计数器的装载输入端，R 为计数器复位信号输入端，PV 为预置值输入端。各自的数据类型均为 INT。
2. PV 的操作数有：IW、QW、MW、SMW、T、C、LW、VW、SW、AC、常数。

3. S7－300 PLC 的定时器指令

S7－300 PLC 的定时器可分为五类：脉冲定时器（Pulse Timer）、扩展脉冲定时器（Extended Pulse Timer）、接通延时定时器（On－Delay Timer）、保持型接通延时定时器（Retentive On－Delay Timer）和断开延时定时器（Off－Delay Timer）。

1）五类定时器在梯形图和语句表中的指令格式，分别如图 6-32 ~ 图 6-36 所示。其中，S 为设置输入端，TV 为预置值输入端，R 为复位输入端，Q 为定时器位输出端，BI 端和 BCD 端分别输出二进制形式与 BCD 形式的当前时间值。S、R、Q 的数据类型均为 BOOL 量，BI 和 BCD 的数据类型为 WORD（字），TV 为 S5TIME 变量。

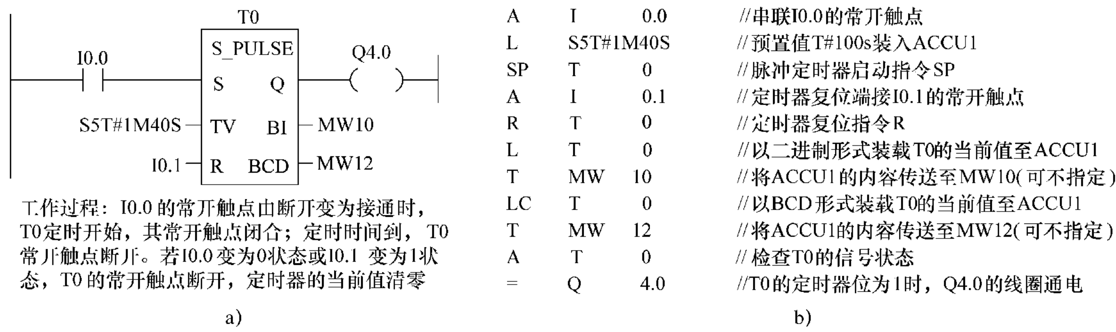


图 6-32 脉冲定时器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程 b）等效的语句表编程



图 6-33 扩展脉冲定时器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程 b）等效的语句表编程

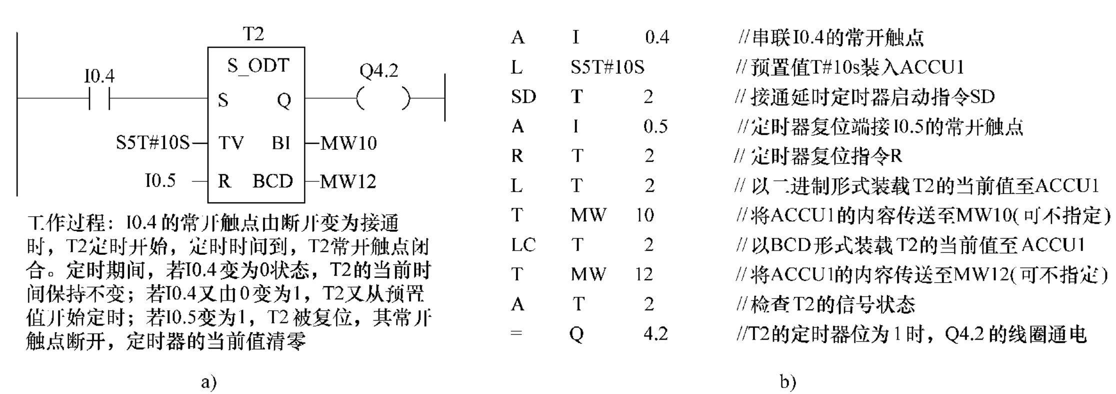


图 6-34 接通延时定时器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程 b）等效的语句表编程

2）定时器的存储及其时间格式：S7－300 PLC 的定时器有一个 16 位的字和一个二进制位，定时器的字用来存放它当前的定时时间值，定时器触点的状态由它的位的状态来决定。可用定时器地址（T 加定时器号，如 T4）来访问它的时间值和定时器位，带字操作数的指令访问定时器

的时间值，带位操作数的指令访问定时器位。

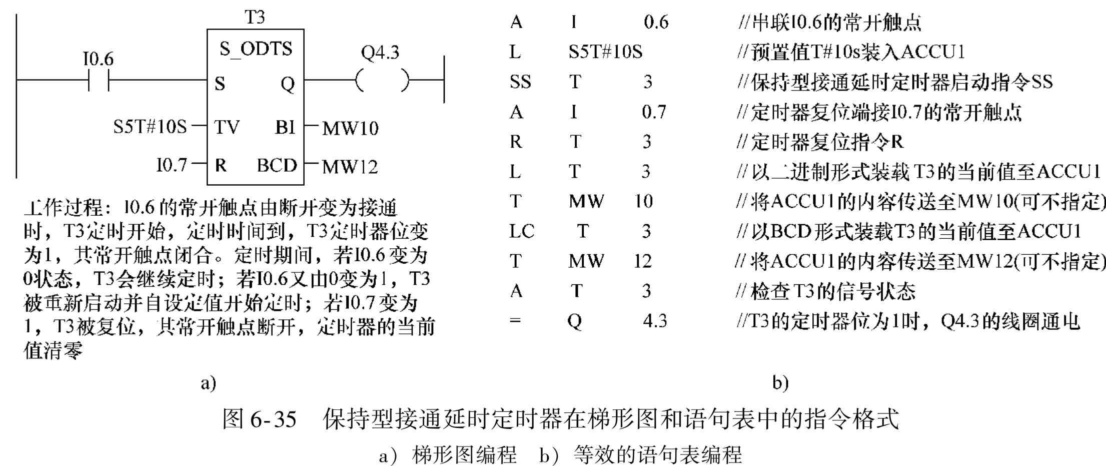


图6-35　保持型接通延时定时器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程　b）等效的语句表编程

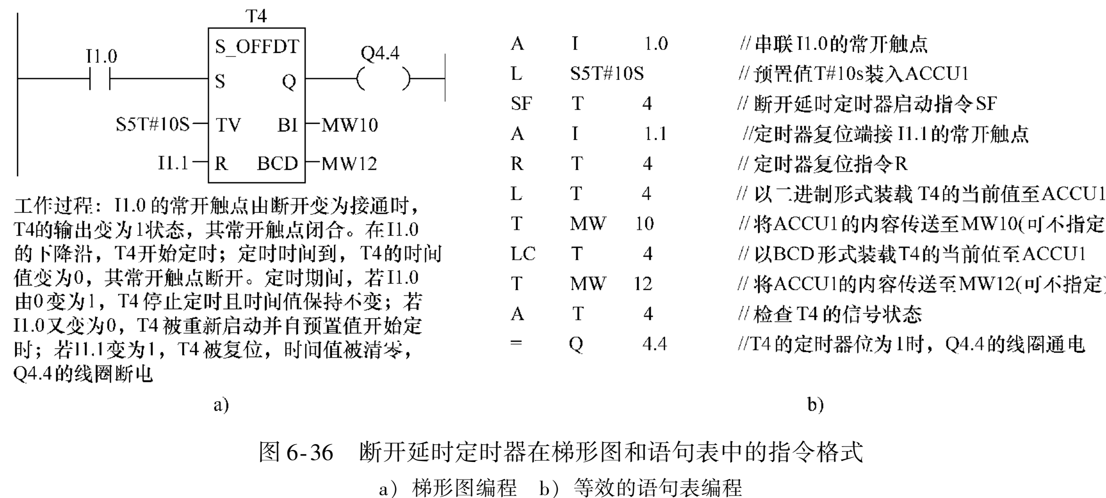


图6-36　断开延时定时器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程　b）等效的语句表编程

用户使用的定时器字由3位BCD码时间值（0~999）和CPU自动选择的时间基准（简称时基）组成（见图6-37），时间值以指定的时基为单位。时基反映了定时器的分辨率，且时基越小、分辨率越高，可定时的时间越短。在CPU内部，时间值以二进制格式存放，且占用定时器字的第0~9位。



时基	对应的二进制编码	
	第13位	第12位
10ms	0	0
100ms	0	1
1s	1	0
10s	1	1

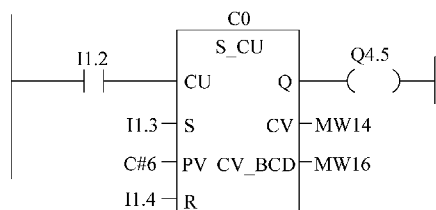
图6-37　S7 -300 PLC 定时器字的组成

S7－300 PLC 的定时器预置值（TV）既可为 16 进制格式的 W#16#wxyz，也可为 S5T#aH_ bM_ cS_ dMS（可不输入下划线）。其中，w 是时间基准，xyz 是 BCD 码格式的时间值，“#”是英文字符，H 为小时，M 为分钟，S 为秒，MS 为毫秒，a、b、c、d 是用户设置的值。在梯形图中必须使用“S5T#”格式的时间值，在语句表中还可使用 IEC 格式的时间值，即在时间值的前面加 T#（如 T#20S）。定时器的实际定时时间等于时间值乘以时基，例如 W#16#3999，时基为 10s，定时时间为 999×10s＝9990s。

4. S7－300 PLC 的计数器指令

S7－300 PLC 的计数器可分为三类：加计数器（S_ CU）、减计数器（S_ CD）和加减计数器（S_ CUD）。

1）三类计数器在梯形图和语句表中的指令格式，分别如图 6-38～图 6-40 所示。其中，CU 为加计数脉冲输入信号端，CD 为减计数脉冲输入信号端，S 为设置输入端，PV 为预置值输入端，R 为复位输入端，Q 为计数器位输出端，CV 端和 CV_ BCD 端分别输出十六进制格式与 BCD 码的当前计数值。CU、CD、S、R、Q 的数据类型均为 BOOL 量，PV、CV 和 CV_ BCD 的数据类型为 WORD（字）。各变量均可使用 I（仅用于输入变量）、Q、M、L、D 存储区，PV 还可使用计数器常数 C#（如 C#629）。



工作过程：在设置输入端(S)信号I1.3的上升沿，将PV端指定的预置值送入计数器字。在加计数脉冲输入信号I1.2的上升沿，若计数值<999，则计数值加1。复位输入信号I1.4为1状态时，C0被复位，计数值被清零。计数值>0时计数器位(即输出Q)置1状态；计数值=0时，计数器位置0状态。用S信号设置C0时，CU信号为1状态，即使CU无变化，下一个扫描周期也会加计数

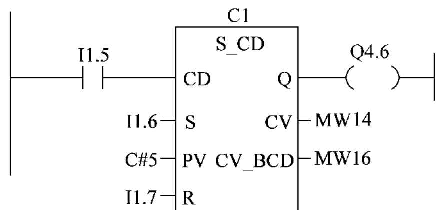
a)

```
A    I    1.2    //串联I1.2的常开触点(上升沿)
CU   C    0      //加计数器C0的当前值增1
BLD  101         //空操作指令，与显示无关
A    I    1.3    //串联I1.3的常开触点(上升沿)
L    C#6         //以二进制形式将C0的预置值6装入ACCU1
S    C    0      //将预置值装入计数器C0
A    I    1.4    //若I1.4为1状态(串联)
R    C    0      //复位计数器C0
L    C    0      //将C0的十六进制计数当前值装入ACCU1
T    MW   14     //将ACCU1的内容传送至MW14(可不指定)
LC   C    0      //将C0的BCD计数当前值装入ACCU1
T    MW   16     //将ACCU1的内容传送至MW16(可不指定)
A    C    0      //若C0的当前值非0
=    Q    4.5    //Q4.5的线圈通电
```

b)

图 6-38　加计数器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程　b）等效的语句表编程



工作过程：在设置输入端(S)信号I1.6的上升沿，将PV端指定的预置值送入计数器字。在减计数脉冲输入信号I1.5的上升沿，若计数值>0，则计数值减1。复位输入信号I1.7为1状态时，C1被复位，计数值被清零。计数值>0时，计数器位(即输出Q)置1状态；计数值=0时，计数器位置0状态。用S信号设置C1时，CD信号为1状态，即使CD无变化，下一个扫描周期也会减计数

a)

```
A    I    1.5    //串联I1.5的常开触点(上升沿)
CD   C    1      //减计数器C1的当前值减1
BLD  101         //空操作指令，与显示无关
A    I    1.6    //串联I1.6的常开触点(上升沿)
L    C#5         //以二进制形式将C1的预置值5装入ACCU1
S    C    1      //将预置值装入计数器C1
A    I    1.7    //若I1.7为1状态(串联)
R    C    1      //复位计数器C1
L    C    1      //将C1的十六进制计数当前值装入ACCU1
T    MW   14     //将ACCU1的内容传送至MW14(可不指定)
LC   C    1      //将C1的BCD计数当前值装入ACCU1
T    MW   16     //将ACCU1的内容传送至MW16(可不指定)
A    C    1      //若C1的当前值非0
=    Q    4.6    //Q4.6的线圈通电
```

b)

图 6-39　减计数器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程　b）等效的语句表编程

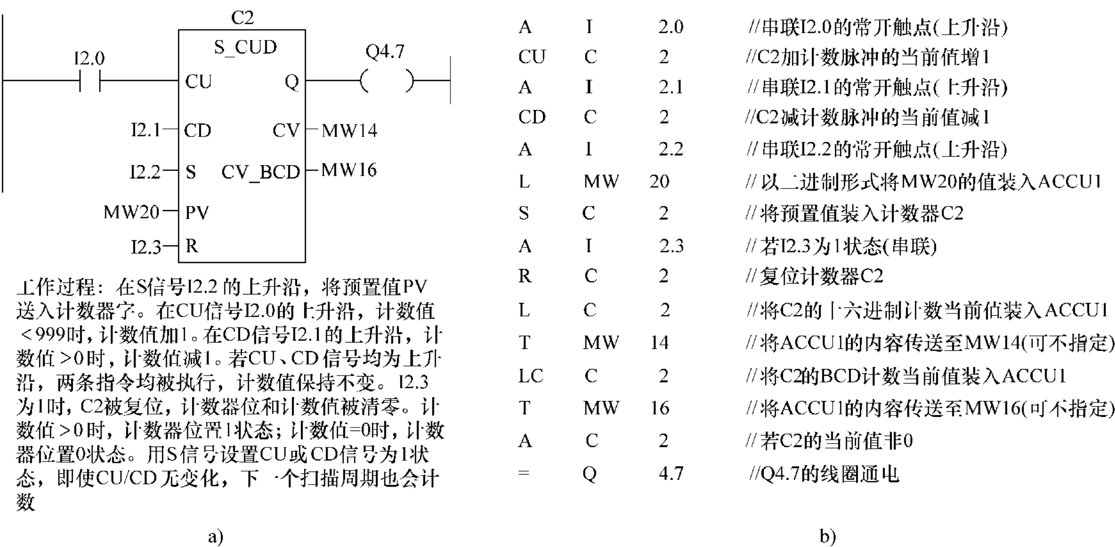


图 6-40　加减计数器在梯形图和语句表中的指令格式

a）梯形图编程　b）等效的语句表编程

2）计数器的存储及其计数格式。S7 - 300 PLC 的计数器有一个 16 位的字和一个二进制位，计数器的字用来存放它当前的计数值，计数器触点的状态由它的位的状态来决定。可用计数器地址（C 加计数器号，如 C30）来访问当前计数值和计数器位，带字操作数的指令访问计数器的计数值，带位操作数的指令访问计数器位。其中，计数器字由 3 位 BCD 码的计数值（0 ~ 999）组成（见图 6-41）。

bit 15　8　7　0

0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1

未用　6　2　9

以 BCD 码表示的计数值(0～999)

图 6-41　S7 - 300 PLC 计数器字的组成

6.2.5　数据处理指令

S7 - 200/300 PLC 的数据处理指令包括装入指令（仅 S7 - 300）、传送指令、比较指令和数据类型转换指令。

1．S7 - 200 PLC 的传送指令

在 S7 - 200 PLC 中，数据传送指令就是把输入端（IN）指定的数据传送至输出端（OUT），传送过程中数据的值保持不变。单个数据传送指令每次仅传送 1 个数据。传送数据的类型可分为字节传送指令（MOVB）、字传送指令（MOVW）、双字传送指令（MOVD）和实数传送指令（MOVR），见表 6-11。

表 6-11 S7－200 PLC 的单个数据传送指令及其有效操作数

序号	指令名称	LAD 图符	有效操作数
1	字节传送指令	MOV_B EN ENO IN OUT	输入（IN）：VB、IB、QB、MB、AC、LB、常数
			输出（OUT）：VB、IB、QB、MB、AC、LB
2	字传送指令	MOV_W EN ENO IN OUT	输入（IN）：VW、IW、QW、MW、AC、LW、T、C、常数
			输出（OUT）：VW、IW、QW、MW、AC、LW、T、C
3	双字传送指令	MOV_DW EN ENO IN OUT	输入（IN）：VD、ID、QD、MD、AC、LD、常数
			输出（OUT）：VD、ID、QD、MD、AC、LD
4	实数传送指令	MOV_R EN ENO IN OUT	输入（IN）：VD、ID、QD、MD、AC、LD、常数
			输出（OUT）：VD、ID、QD、MD、AC、LD

注：EN 为使能输入端，当 EN＝1 时，传送指令将输入端数据复制到输出端；ENO 为输出使能端，当执行了传送指令后，ENO 输出 1 状态。

2. S7－300 PLC 的装入指令与传送指令

在 S7－300 PLC 的语句表（STL）编程中，装入指令 L（Load）和传送指令 T（Transfer）用于在存储区之间或存储区与过程输入、过程输出之间交换数据（见图 6-42）。

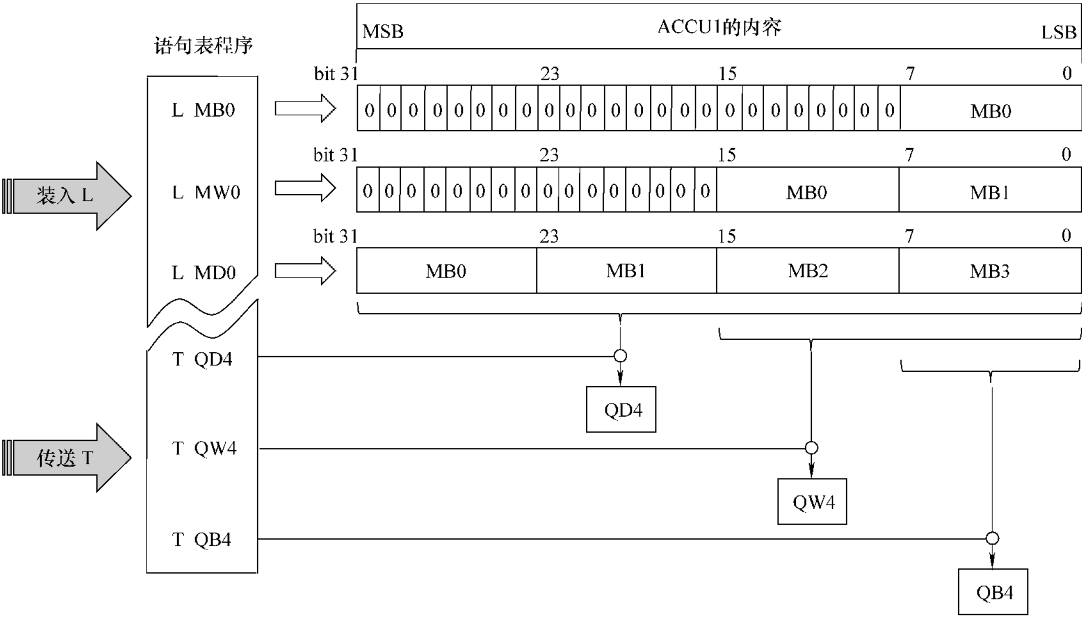


图 6-42 S7－300 PLC 的数据装入/传送过程示意图

1）装入指令（见表 6-12）是将源操作数（8 位的字节、16 位的字和 32 位的双字）装入 ACCU1，在此之前，ACCU1 内原有的数据被自动移入 ACCU2。数据长度小于 32 位时，数据在 ACCU1 内以右对齐格式存放（即 ACCU1 的低端），其余的高位字节填 0。

表 6-12　S7－300 PLC 语句表编程中常用的装入指令

STL 指令	指 令 描 述
L <地址>	装入指令，将数据装入 ACCU1，ACCU1 内原有的数据装入 ACCU2
L STW	将状态字装入 ACCU1，该指令的执行与状态位无关且对状态没有影响
LAR1 AR2	将地址寄存器 2 的内容装入地址寄存器 1
LAR1 <D>	将 32 位双字指针 <D> 装入地址寄存器 1
LAR2 <D>	将 32 位双字指针 <D> 装入地址寄存器 2
LAR1	将 ACCU1 的内容（32 位指针常数）装入地址寄存器 1
LAR2	将 ACCU1 的内容（32 位指针常数）装入地址寄存器 2

2）传送指令（见表 6-13）是将 ACCU1 中的内容写入目的存储区（地址），ACCU1 的内容不变。被复制数据的字节数取决于目的地址的数据长度。数据自 ACCU1 传送至外部输出区（PQ 区）的同时，也会被传送至相应的过程映像输出区（Q 区）。

表 6-13　S7－300 PLC 语句表编程中常用的传送指令

STL 指令	指 令 描 述
T <地址>	传送指令，将 ACCU1 的内容写入目的存储区，ACCU1 的内容不变
T STW	将 ACCU1 的内容传送至状态字
TAR1 AR2	将地址寄存器 1 的内容传送至地址寄存器 2
TAR1 <D>	将地址寄存器 1 的内容传送至 32 位指针
TAR2 <D>	将地址寄存器 2 的内容传送至 32 位指针
TAR1	将地址寄存器 1 的内容传送至 ACCU1，ACCU1 内原有的内容移入 ACCU2
TAR2	将地址寄存器 2 的内容传送至 ACCU1，ACCU1 内原有的内容移入 ACCU2
CAR	交换地址寄存器 1 和地址寄存器 2 中的数据

在 S7－300 PLC 的梯形图（LAD）编程中，字节（8 位）、字（16 位）或双字（32 位）数据对象的传送是采用功能框形式的 MOVE 传送指令完成的（见图 6-43）。该指令是通过启用 EN 输入（使能端）来激活的，可把 IN 输入端指定的源值复制到 OUT 输出端指定的地址。IN 端的操作数为 I、Q、M、L、D 或常数，EN、ENO 与 OUT 端的操作数均为 I、Q、M、L 或 D。

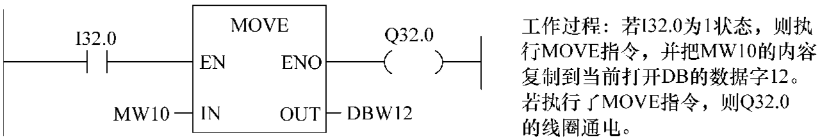


图 6-43　MOVE 传送指令（LAD）在 S7－300 PLC 中的应用

3. S7－200 PLC 的比较指令

比较指令又称比较触点指令（见图 6-44），用于比较两个数（比较数 IN1 与比较数 IN2）的大小。被比较的两个数的数据类型应该相同，数据类型既可为无符号的字节，也可为有符号的整数、双字整数或实数（浮点数）。当比较数 IN1 与比较数 IN2 的关系符合比较关系符的条件时，比较触点闭合，其后电路导通。否则比较触点断开，其后电路不导通。也就是说，比较触点相当于一个有条件的常开触点，在比较关系成立时触点闭合，不成立时触点断开。

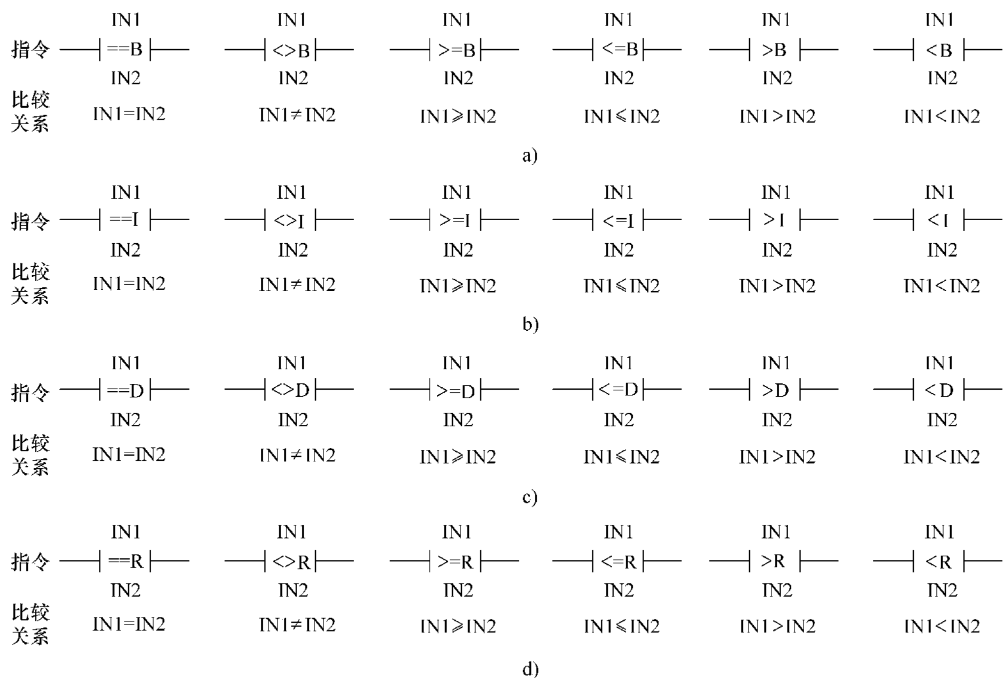


图 6-44　S7－200 PLC 梯形图编程的各类比较指令

a）字节比较指令　b）整数比较指令　c）双字整数比较指令　d）实数比较指令

在字节比较时，比较数 IN1/IN2 所使用的操作数为 VB、IB、QB、MB、SMB、AC、LB 或常数；在字比较时，比较数 IN1/IN2 所使用的操作数为 VW、IW、QW、MW、AC、LW、T、C 或常数；在双字比较与实数比较时，比较数 IN1/IN2 所使用的操作数为 VD、ID、QD、MD、AC、LD 或常数。

4. S7－300 PLC 的比较指令

S7－300 PLC 的比较指令（见表 6-14）可用来比较 ACCU1 与 ACCU2 中的数据大小，被比较的两个数（IN1 与 IN2）的数据类型相同，且为 16 位的整数、32 位的双整数或 32 位的实数（浮点数）。当比较条件满足时，运算结果 RLO 为 1；否则 RLO 为 0。

表 6-14　S7－300 PLC 的比较指令

序号	比较对象	LAD 图符	STL 指令	指 令 描 述
1	整数比较	CMP ? I 输入 输出 IN1 IN2	? I	比较 ACCU2 与 ACCU1 低字中的 16 位整数是否满足 ＝＝、＜＞、＞、＜、＞＝或＜＝，条件满足时 RLO＝1
2	双整数比较	CMP ? D 输入 输出 IN1 IN2	? D	比较 ACCU2 与 ACCU1 中的 32 位双整数是否满足＝＝、＜＞、＞、＜、＞＝或＜＝，条件满足时 RLO＝1
3	实数比较	CMP ? R 输入 输出 IN1 IN2	? R	比较 ACCU2 与 ACCU1 中的 32 位浮点数是否满足＝＝、＜＞、＞、＜、＞＝或＜＝，条件满足时 RLO＝1

注：“?”可取＝＝、＜＞、＞、＜、＞＝或＜＝。

5. S7－200/300 PLC的数据类型转换指令

在S7－200 PLC中，数据类型转换指令是对输入端（IN）给定的操作数进行数据类型的转换，并将转换后的结果输出至OUT端指定的目标地址中。在S7－300 PLC中，数据转换类型指令是将ACCU1中的数据进行数据类型的转换，转换后的结果仍存放在ACCU1内。内装于SINUMERIK系统的S7－200 PLC与S7－300 PLC的数据类型转换指令，分别见表6-15和表6-16。

表6-15　内装于SINUMERIK系统的S7－200 PLC的数据类型转换指令

序号	数据类型转换	LAD图符	STL指令	指令描述
1	BCD码转换为整数	BCD_I EN ENO IN OUT	BCDI OUT	BCD_ I指令将IN端输入的二进制编码的十进制数转换为整数，并将结果送入OUT指定的存储单元内；IN端有效范围为BCD码的0～9999
2	整数转换为BCD码	I_BCD EN ENO IN OUT	IBCD OUT	I_ BCD指令将IN端输入的整数转换为二进制编码的十进制数，并将结果送入OUT指定的存储单元内；IN端有效范围为0～9999
3	双整数转换为实数	DI_R EN ENO IN OUT	DTR IN，OUT	DTR指令将IN端输入的32位带符号双整数转换为32位实数，并将结果送入OUT指定的存储单元内
4	实数截位取整为双整数	TRUNC EN ENO IN OUT	TRUNC IN，OUT	TRUNC（截位取整）指令将IN端输入的32位实数按“舍去小数部分”原则转换为32位带符号的双整数，并将结果送入OUT指定的存储单元内

表6-16　内装于SINUMERIK系统的S7－300 PLC的数据类型转换指令

序号	数据类型转换	LAD图符	STL指令	指令描述
1	BCD码转换为整数	BCD_I EN ENO IN OUT	BTI	BTI指令将ACCU1低字的3位二进制编码的十进制数（BCD码）转换为16位整数，结果存储在ACCU1的低字中；ACCU1的高字与ACCU2保持不变。位15表示BCD数字的符号（0＝正，1＝负），位12～14在转换中不使用
2		BCD_DI EN ENO IN OUT	BTD	BTD指令将ACCU1内7位二进制编码的十进制数转换为32位双整数，结果存储在ACCU1内，ACCU2保持不变。位0～27表示BCD数字，位31表示BCD数字的符号（0＝正，1＝负），位28～30在转换中不使用
3	整数转换为BCD码	I_BCD EN ENO IN OUT	ITB	ITB指令将ACCU1低字的16位整数转换为3位二进制编码的十进制数（BCD码），结果存储在ACCU1的低字中；ACCU1的高字与ACCU2保持不变。位0～11表示BCD数字，位12～15表示BCD数字的符号（0000＝正，1111＝负）
4		DI_BCD EN ENO IN OUT	DTB	DTB指令将ACCU1内32位双整数转换为7位二进制编码的十进制数（BCD码），结果存储在ACCU1内；ACCU2不变。位0～27表示BCD数字，位28～31表示BCD数字的符号状态（0000＝正，1111＝负）

（续）

序号	数据类型转换	LAD 图符	STL 指令	指令描述
5	双整数转换为实数	DI_REAL EN ENO IN OUT	DTR	DTR 指令将 ACCU1 内 32 位双整数转换为 32 位 IEEE 浮点数（实数），四舍五入（因 32 位双整数的精度比浮点数高）后的结果存储在 ACCU1 内
6	实数转换为双整数	ROUND EN ENO IN OUT	RND	RND（取整）指令将 ACCU1 内 32 位 IEEE 浮点数四舍五入为 32 位双整数，结果存放在 ACCU1 内。如 +100.6、-100.6 取整后分别为 +101 和 -101
7		TRUNC EN ENO IN OUT	TRUNC	TRUNC（截位取整）指令将 ACCU1 内 32 位 IEEE 浮点数按“舍去小数部分”原则转换为 32 位双整数，结果存储在 ACCU1 内。如 +100.5、-100.5 截位取整后分别为 +100 和 -100
8		CEIL EN ENO IN OUT	RND +	RND +（向上取整）指令将 ACCU1 内 32 位 IEEE 浮点数转换为大于等于它的最小双整数，结果存储在 ACCU1 内。如 +100.2、-100.6 向上取整后分别为 +101 和 -100
9		FLOOR EN ENO IN OUT	RND -	RND -（向下取整）指令将 ACCU1 内 32 位 IEEE 浮点数转换为小于等于它的最大双整数，结果存储在 ACCU1 内。如 +100.6、-100.2 向下取整后分别为 +100 和 -101
10	整数转换为双整数	I_DINT EN ENO IN OUT	ITD	ITD 指令将 ACCU1 低字的 16 位整数转换为 32 位双整数，结果放在 ACCU1 中，ACCU2 保持不变

6.2.6 数学运算指令

S7-200/300 PLC 的数学运算指令包括整数数学运算指令、浮点数数学运算指令、循环移位指令和字逻辑运算指令。

1. S7-200/300 PLC 的整数数学运算指令

1）S7-200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的整数数学运算指令见表 6-17。

表 6-17 内装于 SINUMERIK 系统的 S7-200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的整数数学运算指令

序号	运算指令	LAD 图符	指令描述
1	整数相加	ADD_I 输入— EN ENO —输出 IN1 OUT IN2	输入使能 EN=1 时，ADD_ I 指令将 IN1、IN2 端输入的 16 位整数相加，产生的 16 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 + IN2 = OUT
2	双整数相加	ADD_DI 输入— EN ENO —输出 IN1 OUT IN2	输入使能 EN=1 时，ADD_ DI 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位双整数相加，产生的 32 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 + IN2 = OUT

（续）

序号	运算指令	LAD 图符	指　令　描　述
3	整数相减	SUB_I 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，SUB_ I 指令将 IN1、IN2 端输入的 16 位整数相减，产生的 16 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 – IN2 = OUT
4	双整数相减	SUB_DI 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，SUB_ DI 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位双整数相减，产生的 32 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 – IN2 = OUT
5	整数相乘	MUL_I 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，MUL_ I 指令将 IN1、IN2 端输入的 16 位整数相乘，产生的 16 位乘积送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 × IN2 = OUT
6	双整数相乘	MUL_DI 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，MUL_ DI 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位双整数相乘，产生的 32 位乘积送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 × IN2 = OUT
7	整数相除	DIV_I 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，DIV_ I 指令将 IN1、IN2 端输入的 16 位整数相除，产生的 16 位商送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 ÷ IN2 = OUT
8	双整数相除	DIV_DI 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，DIV_ DI 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位双整数相除，产生的 32 位商送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 ÷ IN2 = OUT

2）S7 –300 PLC 语句表（STL）编程的整数数学运算指令见表 6-18。

表 6-18　S7 –300 PLC 语句表（STL）编程的整数数学运算指令

序号	运算指令	STL 指令	指　令　描　述
1	整数相加	+ I	将 ACCU1、ACCU2 低字的 16 位整数相加，运算结果（16 位）放在 ACCU1 的低字，即 ACCU1 + ACCU2 = ACCU1
2	双整数相加	+ D	将 ACCU1、ACCU2 中的 32 位双整数相加，运算结果（32 位）放在 ACCU1 中，即 ACCU1 + ACCU2 = ACCU1
3	整数相减	– I	ACCU2 低字的 16 位整数减去 ACCU1 低字的整数，运算结果放在 ACCU1 的低字，即 ACCU2 – ACCU1 = ACCU1
4	双整数相减	– D	ACCU2 的 32 位双整数减去 ACCU1 的双整数，运算结果（32 位）放在 ACCU1 中，即 ACCU2 – ACCU1 = ACCU1

（续）

序号	运算指令	STL 指令	指　令　描　述
5	整数相乘	＊I	将 ACCU1、ACCU2 低字的 16 位整数相乘，产生的 16 位乘积放在 ACCU1 中，即 ACCU1 × ACCU2 = ACCU1
6	双整数相乘	＊D	将 ACCU1、ACCU2 中的 32 位双整数相乘，产生的 32 位乘积放在 ACCU1 中，即 ACCU1 × ACCU2 = ACCU1
7	整数相除	/I	ACCU2 低字的 16 位整数除以 ACCU1 低字的整数，16 位商放在 ACCU1 的低字，余数放在 ACCU1 的高字，即 ACCU2 ÷ ACCU1 = ACCU1
8	双整数相除	/D	ACCU2 的 32 位双整数除以 ACCU1 的双整数，32 位商放在 ACCU1 中，余数丢掉，即 ACCU2 ÷ ACCU1 = ACCU1
9	双整数相除得余数	MOD	ACCU2 的 32 位双整数除以 ACCU1 的双整数，相除后余数放在 ACCU1 中，即 ACCU2 ÷ ACCU1 = ACCU1（余数）

2. S7－200/300 PLC 的浮点数数学运算指令

1）S7－200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的浮点数数学运算指令见表 6-19。

表 6-19　内装于 SINUMERIK 系统的 S7－200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的浮点数数学运算指令

序号	运算指令	LAD 图符	指　令　描　述
1	浮点数相加	ADD_R 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，ADD_ R 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位浮点数相加，产生的 32 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 + IN2 = OUT
2	浮点数相减	SUB_R 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，SUB_ R 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位浮点数相减，产生的 32 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 − IN2 = OUT
3	浮点数相乘	MUL_R 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，MUL_ R 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位浮点数相乘，产生的 32 位乘积送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 × IN2 = OUT
4	浮点数相除	DIV_R 输入— EN ENO —输出 — IN1 OUT — — IN2	输入使能 EN = 1 时，DIV_ R 指令将 IN1、IN2 端输入的 32 位浮点数相除，产生的 32 位商送入 OUT 指定的存储单元内，即 IN1 ÷ IN2 = OUT
5	求平方根	SQRT 输入— EN ENO —输出 — IN OUT —	输入使能 EN = 1 时，SQRT 指令 IN 端输入的 32 位浮点数取平方根，产生的 32 位结果送入 OUT 指定的存储单元内，即 $\sqrt{IN}$ = OUT

2）S7－300 PLC 语句表（STL）编程的浮点数数学运算指令见表 6-20。

表6-20　S7－300 PLC语句表（STL）编程的浮点数数学运算指令

序号	运算指令	STL指令	指　令　描　述
1	浮点数相加	+R	将ACCU1、ACCU2中的32位IEEE浮点数相加，运算结果（32位）放在ACCU1内，即ACCU1+ACCU2=ACCU1
2	浮点数相减	－R	ACCU2的32位IEEE浮点数减去ACCU1的浮点数，运算结果放在ACCU1内，即ACCU2－ACCU1=ACCU1
3	浮点数相乘	*R	将ACCU1、ACCU2中的32位IEEE浮点数相乘，32位的乘积放在ACCU1内，即ACCU1×ACCU2=ACCU1
4	浮点数相除	/R	ACCU2的32位IEEE浮点数除以ACCU1的浮点数，32位的商放在ACCU1内，余数丢掉，即ACCU2÷ACCU1=ACCU1
5	浮点数取绝对值	ABS	求ACCU1中32位IEEE浮点数的绝对值，运算结果放在ACCU1内，即｜ACCU1｜=ACCU1
6	浮点数的平方运算	SQR	求ACCU1中32位IEEE浮点数的平方，运算结果放在ACCU1内，即$ACCU1^2$=ACCU1
7	浮点数的平方根运算	SQRT	求ACCU1中32位IEEE浮点数的平方根，运算结果放在ACCU1内，即$ACCU1^{1/2}$=ACCU1
8	浮点数的指数运算	EXP	求ACCU1中32位IEEE浮点数的自然指数（以e为底的指数值），运算结果放在ACCU1内
9	浮点数的自然对数运算	LN	求ACCU1中32位IEEE浮点数的自然对数（以e为底的对数），运算结果放在ACCU1内
10	浮点数角度的正弦值	SIN	求ACCU1中32位IEEE浮点数角度（弧度表示）的正弦值，运算结果放在ACCU1内
11	浮点数角度的余弦值	COS	求ACCU1中32位IEEE浮点数角度（弧度表示）的余弦值，运算结果放在ACCU1内
12	浮点数角度的正切值	TAN	求ACCU1中32位IEEE浮点数角度（弧度表示）的正切值，运算结果放在ACCU1内
13	浮点数的反正弦值	ASIN	求ACCU1中32位IEEE浮点数的反正弦值，运算结果（以弧度表示的角度θ）放在ACCU1内，$-\pi/2\leqslant\theta\leqslant\pi/2$
14	浮点数的反余弦值	ACOS	求ACCU1中32位IEEE浮点数的反余弦值，运算结果（以弧度表示的角度θ）放在ACCU1内，$0\leqslant\theta\leqslant\pi$
15	浮点数的反正切值	ATAN	求ACCU1中32位IEEE浮点数的反正切值，运算结果（以弧度表示的角度θ）放在ACCU1内，$-\pi/2\leqslant\theta\leqslant\pi/2$

3. S7－200/300 PLC的循环移位指令

1）S7－200/300 PLC梯形图（LAD）编程的循环移位指令见表6-21。

表 6-21 内装于 SINUMERIK 系统的 S7－200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的循环移位指令

序号	运算指令	LAD 图符	指 令 描 述
1	字节左移位	SHL_B 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHL_ B 指令将 IN 端输入的字节数值向左移动 N 位（N≤8），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0；若移位结果为 0，则 SM1.0（零存储器位）置位。该指令仅在内置 S7－200 PLC 中使用
2	字节右移位	SHR_B 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHR_ B 指令将 IN 端输入的字节数值向右移动 N 位（N≤8），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0；若移位结果为 0，则 SM1.0（零存储器位）置位。该指令仅在内置 S7－200 PLC 中使用
3	整数右移位	SHR_I 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHR_ I 指令将 IN 端输入的整数数值向右移动 N 位（N≤16），结果送入 OUT 端指定的存储单元内；正整数移出的空位补 N 个 0，负整数移出的空位补 N 个 1。该指令仅在内置 S7－300 PLC 中使用
4	双整数右移位	SHR_DI 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHR_ DI 指令将 IN 端输入的双整数数值向右移动 N 位（N≤32），结果送入 OUT 端指定的存储单元内；正整数移出的空位补 N 个 0，负整数移出的空位补 N 个 1。该指令仅在内置 S7－300 PLC 中使用
5	字左移位	SHL_W 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHL_ W 指令将 IN 端输入的字数值向左移动 N 位（N≤16），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0
6	字右移位	SHR_W 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHR_ W 指令将 IN 端输入的字数值向右移动 N 位（N≤16），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0
7	双字左移位	SHL_DW 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHL_ DW 指令将 IN 端输入的字数值向左移动 N 位（N≤32），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0
8	双字右移位	SHR_DW 输入— EN ENO —输出 — IN OUT — — N	输入使能 EN＝1 时，SHR_ DW 指令将 IN 端输入的字数值向右移动 N 位（N≤32），结果送入 OUT 端指定的存储单元内，移出的空位补 N 个 0

2）S7－300 PLC 语句表（STL）编程的循环移位指令见表 6-22。

表 6-22　S7－300 PLC0 语句表（STL）编程的循环移位指令

序号	运算指令	STL 指令	指　令　描　述
1	带符号整数右移位	SSI N	ACCU1 低字的带符号整数向右移动 N 位（N＝0～15），正整数移出的空位补 N 个 0，负整数移出的空位补 N 个 1
2	带符号双整数右移位	SSD N	ACCU1 的带符号双整数向右移动 N 位（N＝0～32），正整数移出的空位补 N 个 0，负整数移出的空位补 N 个 1
3	字左移位	SLW N	ACCU1 低字的 16 位字向左移动 N 位（N＝0～15），移出的空位补 N 个 0；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
4	字右移位	SRW N	ACCU1 低字的 16 位字向右移动 N 位（N＝0～15），移出的空位补 N 个 0；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
5	双字左移位	SLD N	ACCU1 的双字向左移动 N 位（N＝0～32），移出的空位补 N 个 0；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
6	双字右移位	SRD N	ACCU1 的双字向右移动 N 位（N＝0～32），移出的空位补 N 个 0；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
7	双字循环左移位	RLD	ACCU1 的双字向左循环移动 N 位（N＝0～32），即自 ACCU1 移出来的位又送回 ACCU1 内另一端空出来的位，最后的位装入状态字的 CC1 位；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
8	双字循环右移位	RRD N	ACCU1 的双字向右循环移动 N 位（N＝0～32），即自 ACCU1 移出来的位又送回 ACCU1 内另一端空出来的位，最后的位装入状态字的 CC1 位；N＝0 时视指令为 NOP 空操作
9	双字经 CC1 循环左移位	RLDA	ACCU1 的双字通过 CC1 向左循环移动 1 位，复位状态字 CC0 和 OV 为 0
10	双字经 CC1 循环右移位	RRDA	ACCU1 的双字通过 CC1 向右循环移动 1 位，复位状态字 CC0 和 OV 为 0

4. S7－200/300 PLC 的字逻辑运算指令

在 S7－200/300 PLC 梯形图编程中，当 EN 端使能输入信号状态为 1 时，字逻辑运算指令（见图 6-45）是对 IN1、IN2 端输入的无符号操作数（16 位字或 32 位双字）按位（布尔逻辑）进行“与”“或”“异或”操作，运算结果存入 OUT 端指定的存储单元内，输出端 ENO 的状态与 EN 端相同。

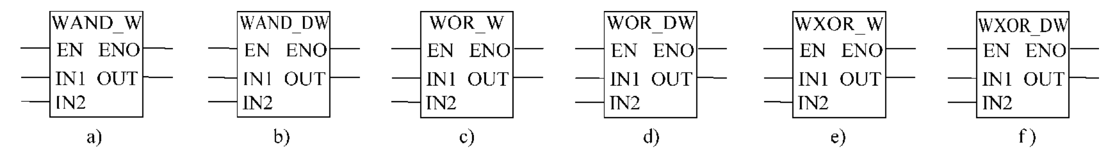


图 6-45　S7－200/300 PLC 梯形图编程的字逻辑运算指令

a）单字与　b）双字与　c）单字或　d）双字或　e）单字异或　f）双字异或

在 S7－300 PLC 语句表编程（见图 6-46）中，单字逻辑指令 AW、OW 和 XOW 分别是对 ACCU1 低字的 16 位字与 ACCU2 低字的 16 位字按位进行“与”“或”“异或”操作，运算结果放在 ACCU1 的低字内并覆盖先前的内容，ACCU2 的内容不变。而双字逻辑指令 AD、OD 和 XOD 分别是对 ACCU1 的 32 位双字与 ACCU2 的 32 位双字按位进行“与”“或”“异或”操作，运算结果

放在 ACCU1 内并覆盖先前的内容，ACCU2 的内容不变。其中，“与”运算中，两个操作数的同一位均为 1 时运算结果的对应位为 1，否则为 0；“或”运算中，两个操作数的同一位均为 0 时运算结果的对应位为 0，否则为 1；“异或”运算中，两个操作数的同一位不相同时运算结果的对应位为 1，否则为 0。无论哪种字逻辑运算，只要运算结果为 0，状态字的 CC1 位就为 1，反之为 0；且任何情况下状态字的 CC0 和 OV 位均被清零。

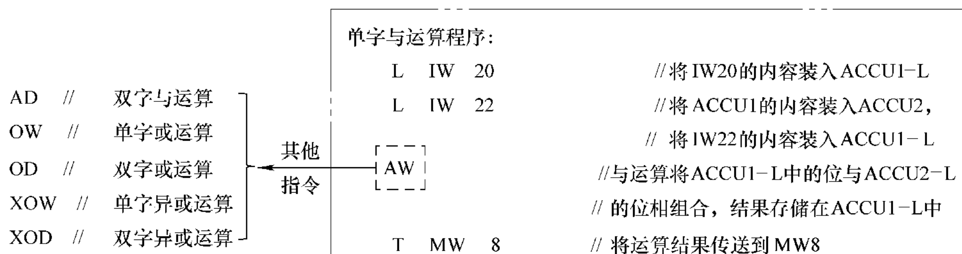


图 6-46 S7－300 PLC 语句表编程的字逻辑运算指令

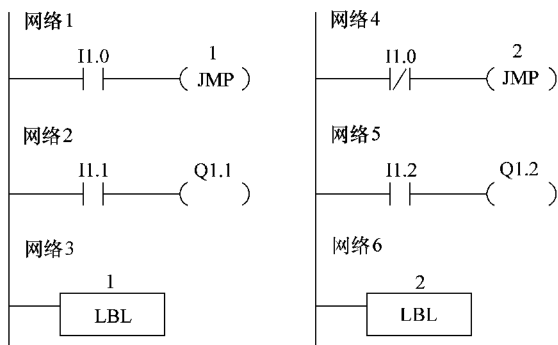
6.2.7 逻辑控制指令

在内装于 SINUMERIK 系统的 S7－200/300 PLC 中，逻辑控制指令包括逻辑块内的跳转指令和循环指令，可用来中止 PLC 程序的线性扫描（未执行跳转和循环指令时，各程序段按从上向下的先后顺序逐条执行的一种方式），并跳转至给定地址标号所在的目的地址。跳转（仅在同一逻辑块内）时，跳转指令与标号之间的 PLC 程序不被执行，自上向下或自下向上跳至目的地址（同一目的地址仅能出现 1 次）后，PLC 程序继续按线性扫描的方式执行。当需要反复执行若干次相同的功能程序完成同样的任务时，可使用循环指令。

1. S7－200/300 PLC 梯形图（LAD）编程的跳转指令

在 S7－200/300 PLC 梯形图编程中，程序跳转是由跳转指令和标号指令配合实现的。S7－200 PLC 有 1 条跳转指令 JMP 且为有条件跳转，与之对应的标号指令 LBL 标记转移目的地 n（n＝0～255）的位置。S7－300 PLC 有 3 条跳转指令——无条件跳转指令 JMP、有条件跳转指令 JMP 和若“否”则跳转指令 JMPN，及与之对应的跳转标号 LABEL。LABEL 由最多 4 个字符组成，第 1 个字符必须是字母，其余可为字母或数字，如 CAS1。有条件跳转与无条件跳转的区别在于，跳转指令是否受触点电路的控制，受控时为有条件跳转，不受控时为无条件跳转。

跳转指令在 S7－200/300 PLC 梯形图编程中的应用分别如图 6-47 和图 6-48 所示。



工作过程：

I1.0 为ON时，其常开触点闭合接通，跳转指令JMP1的条件满足，S7-200 PLC程序跳转执行LBL标号1之后的指令，而在JMP1与LBL1之间的指令一概不执行。此过程中，即使 I1.1 接通，Q1.1 也不会有输出；I1.0 的常闭触点断开，不执行JMP2，于是I1.2 接通时Q1.2会通电输出

I1.0 由ON至OFF时，其处于闭合状态的常开触点断开，而处于断开状态的常闭触点接通。此时，不执行JMP1、但执行JMP2。于是，I1.1接通时Q1.1会通电输出，I1.2虽接通但Q1.2没有输出

图 6-47 跳转指令在 S7－200 PLC 梯形图编程中的应用

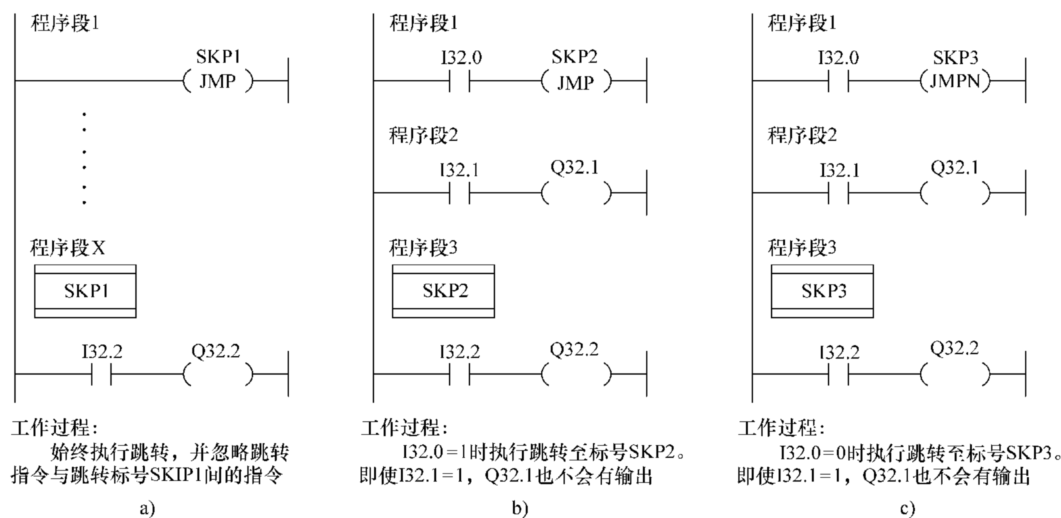


图6-48　跳转指令在S7－300 PLC梯形图编程中的应用
a）无条件跳转　b）有条件跳转　c）若“否”则跳转

2. S7－300 PLC语句表（STL）编程的跳转指令（表6-23）

表6-23　S7－300 PLC语句表编程的跳转指令

跳转指令	指令描述	跳转指令	指令描述
JU <LABEL>	无条件跳转到标号指定的目的地址	JOS <LABEL>	状态位OS=1时跳转至标号指定的目的地址
JL <LABEL>	通过跳转至列表进行跳转，跳转目标数≤255	JZ <LABEL>	状态位CC1及CC0均为0时跳转至标号指定的目的地址
JC <LABEL>	RLO=1时跳转至标号指定的目的地址	JN <LABEL>	运算结果非0（CC1与CC0不同为0）时跳转至标号指定的目的地址
JCN <LABEL>	RLO=0时跳转至标号指定的目的地址	JP <LABEL>	运算结果>0（CC1=1且CC0=0）时跳转至标号指定的目的地址
JCB <LABEL>	RLO=1时跳转并将RLO复制到BR位	JM <LABEL>	运算结果<0（CC1=0且CC0=1）时跳转至标号指定的目的地址
JNB <LABEL>	RLO=0时跳转并将RLO复制到BR位	JPZ <LABEL>	运算结果≥0（CC1=0/1且CC0=0）时跳转至标号指定的目的地址
JBI <LABEL>	状态位BR=1时跳转至标号指定的目的地址	JMZ <LABEL>	运算结果≤0（CC1=0且CC0=0/1）时跳转至标号指定的目的地址
JNBI <LABEL>	状态位BR=0时跳转至标号指定的目的地址	JUO <LABEL>	CC1、CC0同为1（指令出错）时跳转至标号指定的目的地址
JO <LABEL>	状态位OV=1时跳转至标号指定的目的地址		

注：标号LABEL由最多4个字符组成，第1个字符须是字母，其余为字母或数字，其后跟冒号。

3. S7－300 PLC语句表（STL）编程的循环指令

S7－300 PLC语句表编程的循环指令是用ACCU1的低字作循环计数器，每次执行循环指令时ACCU1低字的值减1；若减1后ACCU1的低字非0，将向前或向后跳转至标号LABEL唯一指

定的目的地址处，在目的地址处继续执行线性程序扫描。循环指令的格式为：LOOP <LABEL>，其中跳转标号 LABEL 应与 LOOP 指令在同一逻辑块内。

6.2.8 程序控制指令

S7－300 PLC 语句表编程的程序控制指令包括逻辑块（组织块 OB、功能块 FB、功能 FC、系统功能块 SFB 和系统功能 SFC）结束指令、逻辑块调用指令、主控继电器指令及与数据块有关的指令，见表 6-24。

表 6-24 S7－300 PLC 语句表编程的程序控制指令

跳转指令	指令描述
BE	块结束，中止当前块中的程序扫描并跳转至调用当前块的那个块中
BEC	RLO＝1 时中断当前块中的程序扫描并跳转至调用当前块的那个块中
BEU	终止当前块中的程序扫描并跳转至调用当前块的那个块中
CALL FBn1，DBn2	调用用户自定义的功能块 FB 并为其提供 1 个背景数据块（DB 编号）
CALL FCn	调用功能 FC，不需要背景数据块
CALL SFBn1，DBn2	调用系统功能块 SFB 并为其提供 1 个背景数据块（DB 编号）
CALL SFCn	调用系统功能 SFC，不需要背景数据块 DB
CC FCn 或 SFCn	RLO＝1 时调用不带参数的 FC 或 SFC 类型的逻辑块
UC FCn 或 SFCn	无条件调用不带参数的 FC 或 SFC 类型的逻辑块
MCR（	将 RLO 保存到 MCR 堆栈中并打开 1 个 MCR 区域，与指令“）MCR”成对使用。RLO＝1 时，MCR 为 ON；RLO＝0 时，MCR 为 OFF
）MCR	自 MCR 堆栈中移除条目而结束 MCR 区域，与指令“MCR（”成对使用
MCRA	激活主控继电器 MCR，与指令 MCRD 成对使用
MCRD	取消激活主控继电器 MCR，与指令 MCRA 成对使用
OPN DBn 或 DIn	将数据块作为共享数据块或背景数据块打开，数据块类型为 DB 或 DI
L DBLG	在 ACCU1 中装载共享数据块的长度，ACCU1 原有内容保存至 ACCU2
L DBNO	在 ACCU1 中装载打开的共享数据块的编号，ACCU1 原有内容存至 ACCU2
L DILG	在 ACCU1 中装载背景数据块的长度，ACCU1 原有内容保存至 ACCU2
L DINO	在 ACCU1 中装载打开的背景数据块的编号，ACCU1 原有内容存至 ACCU2

6.3 S7－200/300 PLC 编程软件的安装与使用

目前，SINUMERIK 802D/802Dsl/828D 系统采用以 SIMATIC S7－200 指令组为基础的内置 PLC，其编程工具为基于 Step7－Micro/WIN 32 基础开发的 PLC802；SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统采用以 SIMATIC S7－300 指令组为基础的内置 PLC，其编程工具为 SIMATIC 标准工具（又称编程软件）Step7，并安装有 Toolbox 工具盘内的 PLC 基本程序等内容（见图 6-15）。

6.3.1 编程工具 PLC802 的安装

通常，在 SINUMERIK 802Dsl T/M 或 G/N 系统的随机资料内，会有一张具有软件版本（如 Software V01.04.07.01）要求的 Toolbox 工具盘。其中 T/M 系列为车削与铣削的应用，G/N 系列为磨削与分步冲裁的应用。该工具盘内含编程工具 PLC802（V3.1 版本）和远程调试诊断工具

RCS802等软件的安装文件，如图6-49所示。



图6-49　SINUMERIK 802Dsl T/M系统的Toolbox工具盘内容

下面以SINUMERIK 802Dsl T/M系统为例，介绍编程工具PLC802（V3.1版本）的安装过程。

1）双击Toolbox工具盘内的setup.exe（见图6-49）开始软件的安装，根据画面提示依次单击［Next］和［Yes］键后，进入图6-50所示的工具软件安装选择画面。若单击setup.exe后出现“安装新程序之前，请重新启动Windows”的提示画面，可不必重启计算机，此时执行Windows命令“开始→运行→输入regedit”，进入注册表编辑器，打开图6-51所示的文件夹“HKEY_ LOCAL_ MACHINE \ System \ CurrentControlSet \ Control \ Session Manager”，删除注册表值“PendingFileRenameOperations”即可。

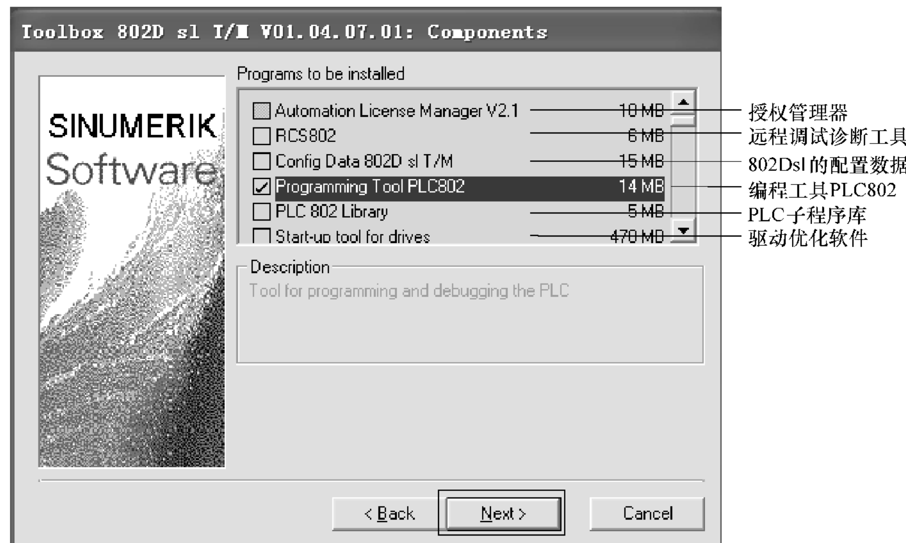


图6-50　SINUMERIK 802Dsl T/M系统的工具软件安装选择画面

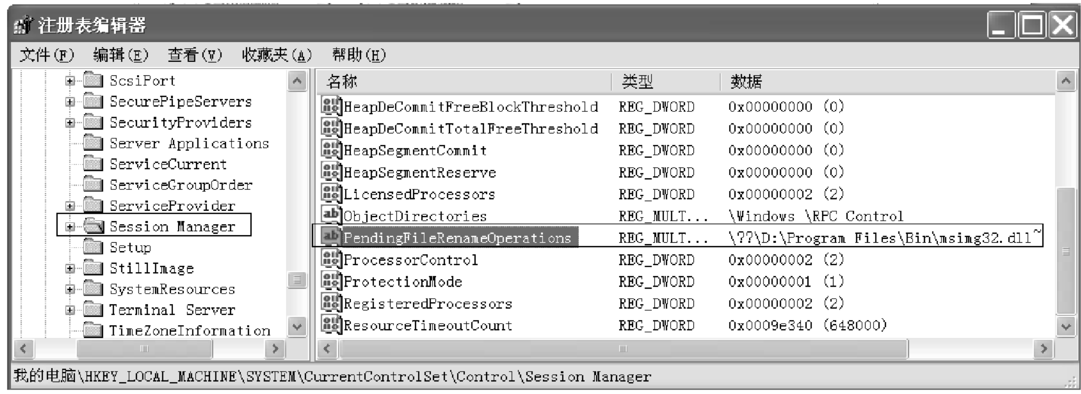


图 6-51 注册表值 PendingFileRenameOperations 的删除画面

2）选中“Programming Tool PLC802”项后，单击［Next］键进入选择设置语言画面（见图 6-52），选择安装语言为“英语”并单击［确定］键。据画面提示单击［Next］键（2 次）后，设置安装路径为“D：\ Program Files \ Siemens \ Programming Tool PLC802”（见图 6-53）。连续单击［OK］、［是 <Y>］和［Next］键，选择 Step7 – Micro/WIN 32 的语言为中文“Chinese”并依次单击［Next］、［Finish］键，以完成软件的安装。



图 6-52 PLC802 的选择设置语言画面

6.3.2 通过编程工具 PLC802 上装/下载 PLC 程序

对于选用了 SINUMERIK 802S/C base line、802D 或 802Dsl 系统的数控机床，在机床设计阶段，需借助 PLC802 进行 PLC 用户程序的开发；在机床调试阶段，需借助 PL802 监控机床的运行及优化调整 PLC 用户程序；在机床日常使用阶段，需借助 PLC802 替换损坏的过程映像输入地址（I）或输出地址（Q）。不管是机床设计、调试阶段，还是机床维修阶段，均得利用外设 PG/PC 上的编程工具 PLC802 和相应的通信电缆（串行通信的 RS232 通信电缆或 Peer – to – Peer 以太网通信的交叉 TP 电缆）来实现 PLC 程序的上装与下载。

1. PLC802 经由 RS232 通信电缆实现 PLC 程序的上装与下载

1）RS232 通信电缆的连接：在数控机床和计算机断电的情况下，将 RS232 通信电缆的一端接至 SINUMERIK 802Dsl 系统 PCU 面板的 X8 接口（SINUMERIK 802S/C base line 系统时接 ECU 的 X2 接口，SINUMERIK 802D 系统时接 PCU 的 X6 接口），另一端接至计算机的 9 芯或 25 芯接口

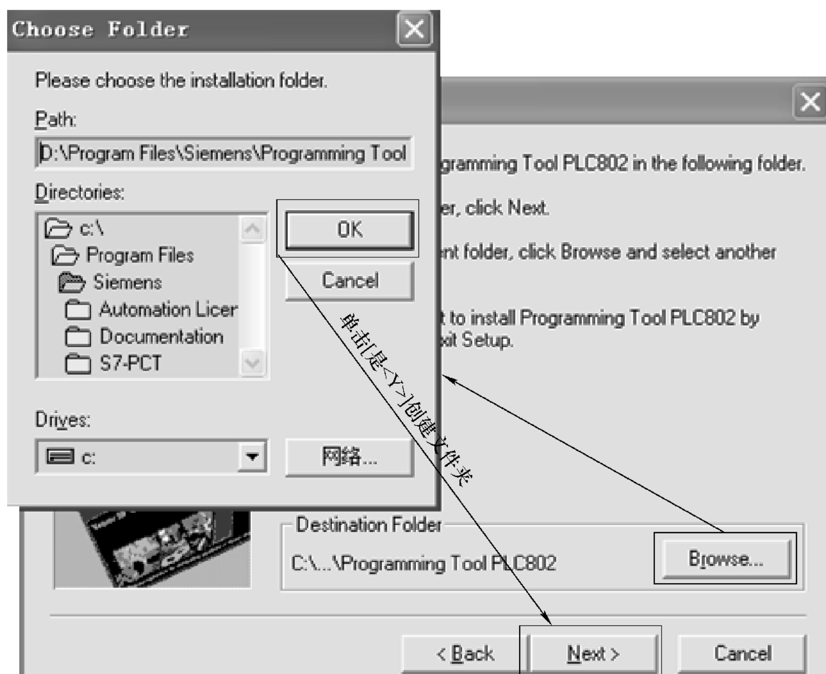


图6-53 PLC802的安装路径设置

（无此接口时借助USB转接口和适配器实现）。RS232通信电缆的接线图如图5-2所示。

2）SINUMERIK 802Dsl系统侧关于Step7连接的参数设定：同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入SYSTEM操作区基本画面（见图2-85）。依次单击画面内的［PLC］键、［Step7连接］键和［激活连接］键，以激活Step7的RS232串行通信连接。

3）计算机侧PLC802的RS232串行通信参数设定。

① 双击桌面的 Programming Tool PLC802 图标，打开编程工具PLC802，显示图6-54所示的操作主画面。

② 通过菜单命令“PLC→类型”进入图6-55所示的PLC类型选择画面，对照所连接的SINUMERIK系统选择对应的PLC类型并单击［确认］键。PLC802（V3.1）适用的PLC类型包括802Dsl TM puls、802Dsl TM pro、802Dsl TM value、802Dsl CU pro、802Dsl NG puls、802Dsl NG pro、802D与802S/C。

③ 单击操作主画面中“检视”区的通信图标或选择菜单命令“检视→通信”，进入图6-56a所示的通信设定画面。设定远程地址为2或3后，双击通信设定画面右上角的接入点图标“PLC802（PPI）”，进入图6-56b所示的PC接口设定画面。

④ 在PC接口设定画面内，为编程工具分配接口PLC802（PPI），单击［属性］键进入PLC802（PPI）的属性设置画面（见图6-57）。在此画面分别进行传输速率的设定（必须与SINUMERIK系统侧的通信参数一致）与PC通信接口的选择，通过单击［确定］键完成相应的设定或选择。随后，单击PC接口设定画面（见图6-56b）内的［确定］键，以完成PG/PC接口的设定。

⑤ 最后，在SINUMERIK系统侧Step7的RS232串行通信连接已激活的前提下，单击通信设定画面（见图6-56a）内右侧的“双击刷新”项，编程工具PLC802会进行计算机与SINUERMIK

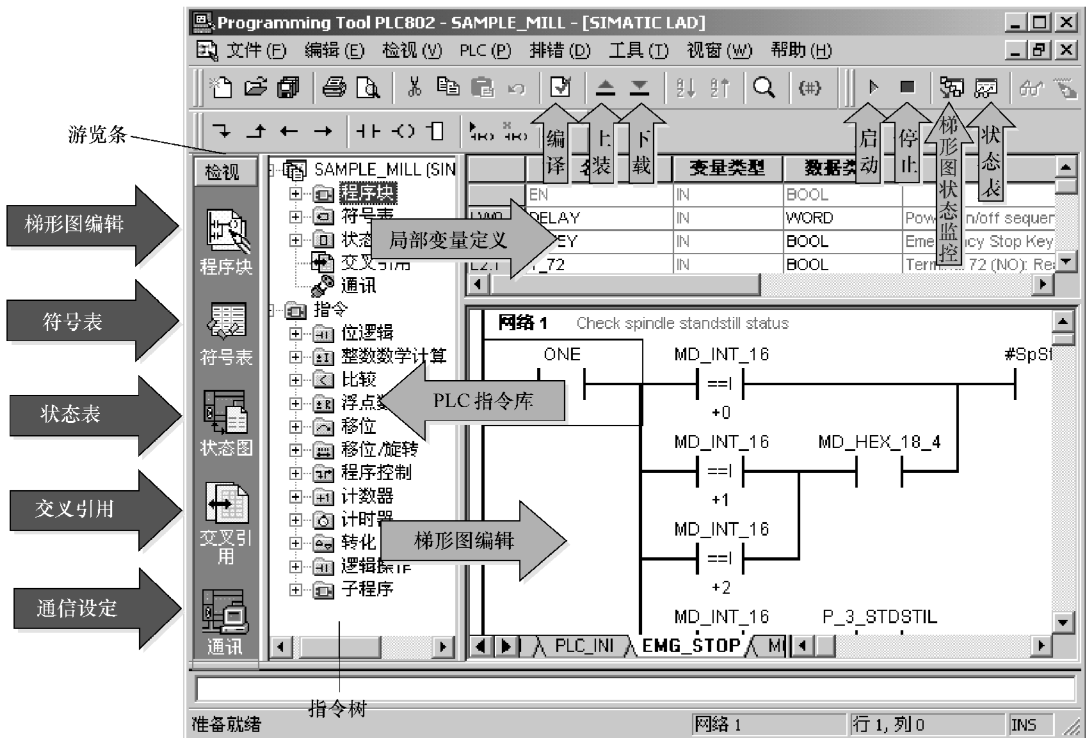


图 6-54　编程工具 PLC802 的操作主画面

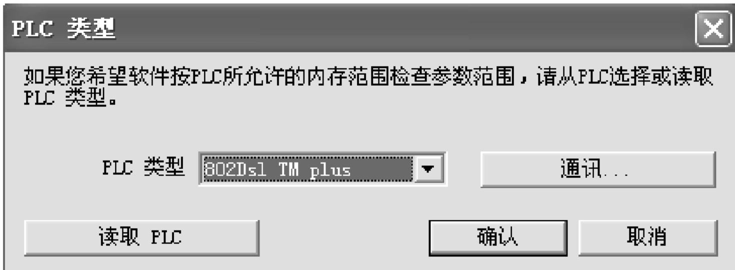


图 6-55　编程工具 PLC802 的 PLC 类型选择画面

系统的通信连接，并在连接成功时为 SINUMERIK 系统分配一个 CPU 图标。

4）SINUMERIK 系统内的 PLC 程序上装（载入）至计算机中：在计算机与 SINUMERIK 系统正常通信的前提下，单击操作主画面中标准工具条上的上装按钮▲（见图 6-54），或执行菜单命令“文件→上装”（快捷键为 Ctrl + U），即可将 SINUMERIK 系统内的 PLC 程序复制到计算机中。

5）计算机内的 PLC 程序下载至 SINUMERIK 系统中：在计算机与 SINUMERIK 系统正常通信的前提下，先用编程工具 PLC802 将已编译无误的 PLC 程序打开，再单击操作主画面中标准工具条上的下载按钮▼（见图 6-54），或执行菜单命令“文件→下载”（快捷键为 Ctrl + D），即可将计算机内的 PLC 程序复制到 SINUMERIK 系统的 FLASH ROM 中。SINUMERIK 系统重新启动时，会将下载的 PLC 程序自 FLASH ROM 装入 SRAM 区并开始生效。

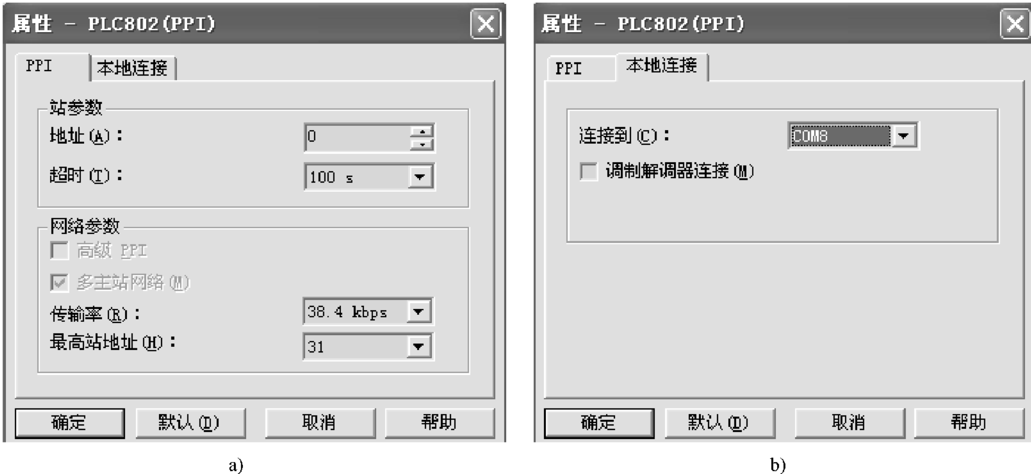
6）计算机与 SINUMERIK 系统间 RS232 串行通信出现的故障与及处理方法见表 6-25。



a)　　b)

图 6-56　编程工具 PLC802 的通信设定画面与 PC 接口设定画面

a）通信设定画面　b）PC 接口设定画面



a)　　b)

图 6-57　PLC802（PPI）的属性设置画面

a）传输速率的设定　b）选择 PC 的通信接口

表 6-25 计算机与 SINUMERIK 系统间 RS232 串行通信常见故障及处理方法

序号	常见故障	可 能 原 因	处 理 方 法
1	“双击刷新”失败	通信电缆不良（断线或插头内端子接线脱落）或插接不良	用万用表的欧姆档逐根芯线检测通信电缆的接通状态，更换通信电缆或重新焊接端子接线；重新插接通信电缆
		PLC802 远程地址设定错误	重新设定远程地址为 2 或 3
		传输速率设定不一致	重新设定传输速率，使计算机与 SINUMERIK 系统侧保持一致
2	保存时 PLC 程序无内容	同时打开了 2 个 PLC 窗口	关掉其中的一个

2. PLC802 经由交叉 TP 电缆实现 PLC 程序的上装与下载

SINUMERIK 802Dsl 系统可通过 Peer－to－Peer 以太网实现 PCU 与外设 PG/PC 的通信连接，并用编程工具 PLC802 和交叉 TP 电缆进行 PLC 程序上装与下载。

1）交叉 TP 电缆的制作与连接：交叉 TP 电缆又称直连网线，是由 RJ458 针水晶头和以太网线按图 6-58b 所示的接线布局连接后，再用压线钳压制而成的。可用网线测试仪对接线质量进行检测。连接时，交叉 TP 电缆的一端接至 SINUMERIK 802Dsl 系统 PCU 面板的 X5 IE 接口，另一端接至计算机的以太网口，如图 6-59 所示。

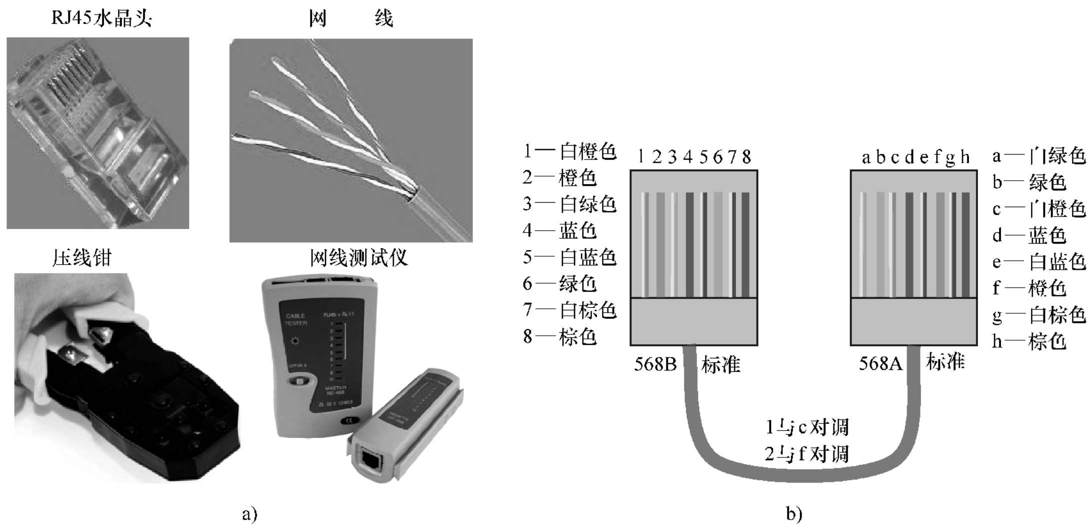


图 6-58 交叉 TP 电缆的接线图

a）电缆组件与压线钳、网线测试仪 b）交叉 TP 电缆的接线

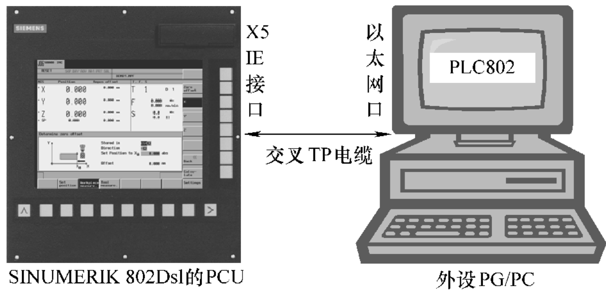


图 6-59 SINUMERIK 802Dsl 系统的 Peer－to－Peer 以太网通信连接

2）SINUMERIK 802Dsl 系统通信端口 102 的释放：编程工具 PLC802 在进行以太网通信时，需要使用 SINUMERIK 802Dsl 系统的 102 端口。该端口的激活（释放）方法为：在 SYSTEM 操作区基本画面（见图 5-16）内，依次单击［维修信息］键、［系统通信］键、［网络信息］键和［防火墙信息］键，进入防火墙配置窗口（见图 6-60），通过光标向上/向下键将光标移至“102 tcp S7 协议”项，按 CNC 键盘上的［Input］键改变端口的状态，并单击画面内的［接收］软键以完成端口释放任务。

防火墙配置

未占用	端口号	记录	说　　明
√	22	tcp	安全命令解释程序 (SSH)
√	80	tcp	网络服务器
√	102	tcp	S7 协议
√	123	udp	时间和日期
√	1597	tcp	HMI ORB 通讯

中　断

接　收

图 6-60　SINUMERIK 802Dsl 系统的防火墙配置窗口

注：RCS 网络需要使用端口 90 和 1597 进行通信。

3）计算机侧 PLC802 中以太网通信参数的设定。

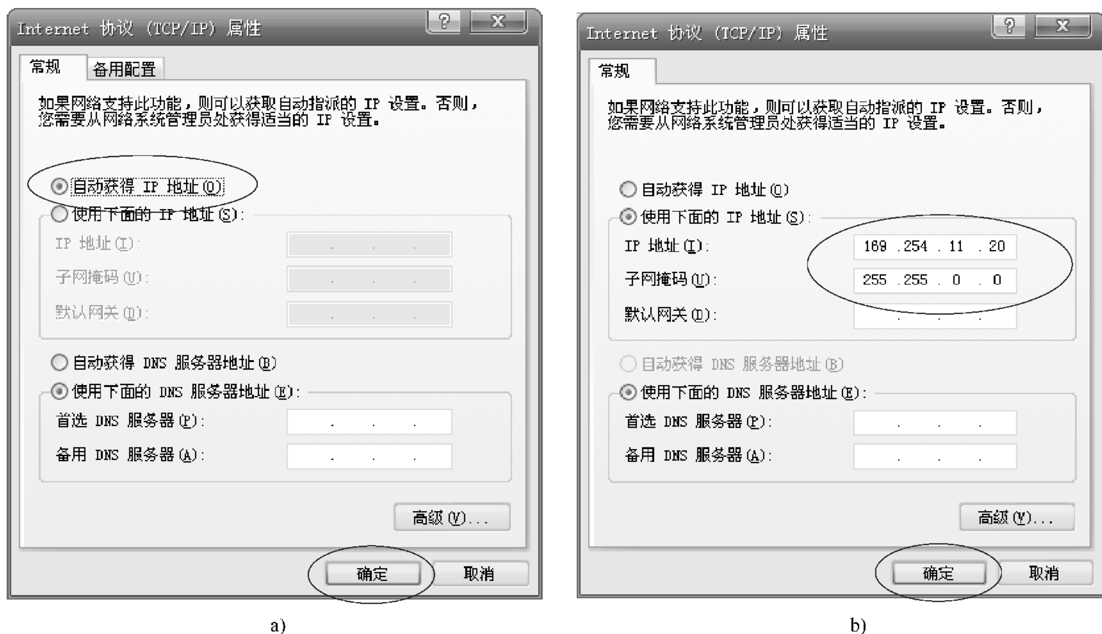
① 双击桌面的 Programming Tool PLC802 图标，打开编程工具 PLC802 显示操作主画面（见图 6-54）。通过菜单命令“PLC→类型”进入 PLC 类型选择画面（见图 6-55），对照所连接的 SINUMERIK 系统选择对应的 PLC 类型并单击［确认］键。

② 单击操作主画面中“检视”区的通信图标或选择菜单命令“检视→通讯”，进入通信设定画面（见图 6-56a）。双击画面右上角的接入点图标“PLC802（PPI）”，进入 PC 接口设定画面（见图 6-61），为 PLC802 分配接口“TCP/IP - > Intel（R）82566MM Gigab…”，然后单击［确定］键完成 PG/PC 接口的设定。计算机所用以太网卡的名称可通过 Windows 开始菜单“开始→设置→网络连接”来查看。



图 6-61　编程工具 PLC802 的 PC 接口设定画面

③ 在计算机的“网络连接”中，选择“本地连接”进入本地连接网络的属性画面，选定 Internet 协议（TCP/IP）项进行 TCP/IP 的属性设置（见图 6-62）——自动获得 IP 地址或使用固定 IP 地址 169. 254. 11. 20。



a)　　b)

图 6-62　计算机侧 TCP/IP 的属性设置

a）自动获得 IP 地址　b）使用固定 IP 地址

4）SINUMERIK 802Dsl 系统 IP 地址的设定：确保数控系统已通过交叉 TP 电缆与计算机进行连接，在 SYSTEM 操作区基本画面（见图 5-16）内，依次单击［维修信息］键、［系统通信］键和［直接连接］键，输入 IP 地址 169. 254. 11. 22 和子网络表征码 255. 255. 0. 0（见图 6-63），从而激活 Peer – to – Peer 以太网的连接。



图 6-63　SINUMERIK 802Dsl 系统 IP 地址的设定

5）在计算机侧，单击 PLC802 通信设定画面内右侧的“双击刷新”项（见图 6-56a），建立与给定 IP 地址间的通信连接。若连接建立且成功识别出目标系统的类型，则在画面内会出现相应的目标系统图标（如 802Dsl TM pro）；若尝试连接失败，则会在画面内显示该 IP 地址不存在；若连接建立但 PLC802 不能识别出目标系统的类型，则会将 IP 地址显示成“未知”。

6）PLC 程序上装（载入）与下载的步骤，与上面介绍的“PLC802 经由 RS232 通信电缆实现 PLC 程序的上装与下载”相同，不再赘述。

6.3.3 标准工具 Step7 及附件的安装

SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统的逻辑控制采用内置型 S7 -300 PLC，编程软件为安装了 Toolbox 工具盘中 PLC 基本程序等内容（见图 6-15）的标准工具 Step7，相应的版本包括 V5.1、V5.2、V5.3、V5.4 和 V5.5 等。在此以 Step7 V5.5 为例，介绍其安装过程。

1. Step7 V5.5 的安装要求

1）对计算机操作系统的要求：作为 32 位应用程序的 Step7 V5.5，既可以安装在 Windows XP 专业版 SP2 或 SP3 和 Windows Server 2003 SP2/R2 SP2 工作站的操作系统上，也可以安装在 Windows 7 32 位旗舰版、专业版和企业版（标准安装）的操作系统上；但不能安装在 Windows 95/98/Me/NT、Windows 2000、Windows Vista 及 Windows XP 专业版 X64（64 位版本）的操作系统上。另外，Step7 V5.5 SP1 可安装在 Windows7 X64 的操作系统上。

2）对计算机硬件的要求：对于装有 Windows XP 专业版操作系统的计算机，内存至少为 512MB、可扩展为 1GB，处理器速度（主频）至少为 600MHz；对于装有 Windows Server 2003 操作系统的计算机，内存至少为 1GB，处理器速度至少为 2.4GHz；对于装有 Windows 7 操作系统的计算机，内存至少为 1GB、可扩展为 2GB，处理器速度至少为 1GHz。

3）安装所需的存储空间：根据安装要求和所安装语言的数量，Step7 V5.5 大约需要 650 ~ 900MB 的硬盘存储空间。除此之外，安装了 Step7 V5.5 的硬盘存储空间至少为计算机内存的 2 倍（如内存为 512MB 时，硬盘存储空间至少为 1024MB），以满足交换文件的运行要求。

4）与其他版本的兼容安装：安装 Step7 V5.5 时，可将当前已安装的 Step7 V5.1、V5.2、V5.3 或 V5.4 覆盖掉，因此安装前不必卸载这些版本的 Step7 及其可选数据包。

2. Step7 V5.5 的安装过程

1）双击 Step7 V5.5_ CN 文件夹内的 setup.exe 开始软件的安装。若出现“安装新程序之前，请重新启动 Windows”的提示画面，可不必重启计算机，此时执行 Windows 命令“开始→运行→输入 regedit”进入注册表编辑器，打开图 6-51 所示的文件夹“HKEY_ LOCAL_ MACHINE \ System \ CurrentControlSet \ Control \ Session Manager”，删除注册表值“PendingFileRenameOperations”即可。重新双击 setup.exe，选择安装程序语言为中文并单击［下一步］键。若出现图 6-64 所示的提示画面，说明包含安装文件的 Step7 V5.5_ CN 文件夹被放在了中文路径下的文件夹内，此时须将文件夹的名称改为英文，以使安装文件位于英文路径下。



图 6-64 因不识别中文路径而出现的提示画面

2）解决上述问题后，再次重新双击 setup.exe，选择安装程序语言为中文并单击［下一步］

键，进入许可证协议画面。选择“我接受上述许可证协议……”项并单击［下一步］键，进入图 6-65 所示的安装程序选择画面。全部勾选画面内的 3 项程序并单击［下一步］键，进入系统设置画面。勾选“我接受对系统设置的更改”后，单击［下一步］键，开始 Step7 V5. 5 的安装。

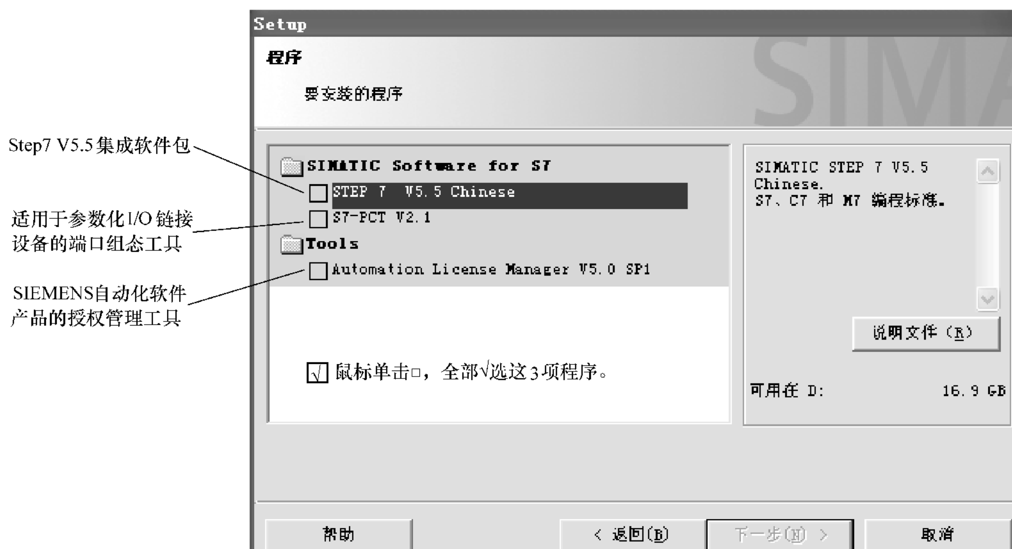


图 6-65 Step7 V5. 5 的安装程序选择画面

3）根据画面提示，连续单击［下一步］键直至出现用户信息画面（见图 6-66）。输入用户名和组织后单击［下一步］键，进入安装类型与路径选择画面（见图 6-67）。选择安装类型为典型的，设定安装路径为“D：\ Program Files \ Siemens \ Step7 \ ”。

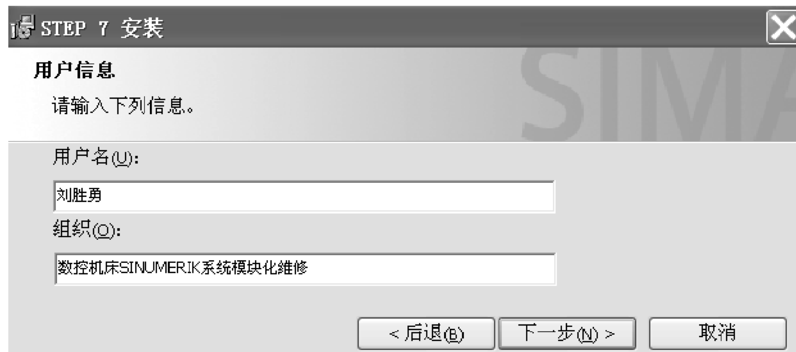


图 6-66 Step7 V5. 5 的用户信息画面

4）根据画面提示，选择产品语言为简体中文（默认语言为英语）后，依次单击［下一步］键与［安装］键，进行 Step7 V5. 5 相关程序功能的安装。

5）安装许可证密钥：安装过程中，程序会检查计算机硬盘上是否装有相应的许可证密钥（License Key，早期称为授权）。若未找到有效的许可证密钥，则会显示 1 条消息，指示必须具有许可证密钥才能使用该软件。根据需要，既可立即安装许可证密钥（需插入 1 张只读不能复制的许可证密钥软盘），也可装完软件后再安装。

6）存储卡参数赋值：Step7 V5. 5 安装后期会出现存储卡参数赋值画面，一般选择画面内的“无”项（无对应存储卡读卡器，内部编程设备接口仅用于专用编程器 PG 而 PC 不可选，外部存

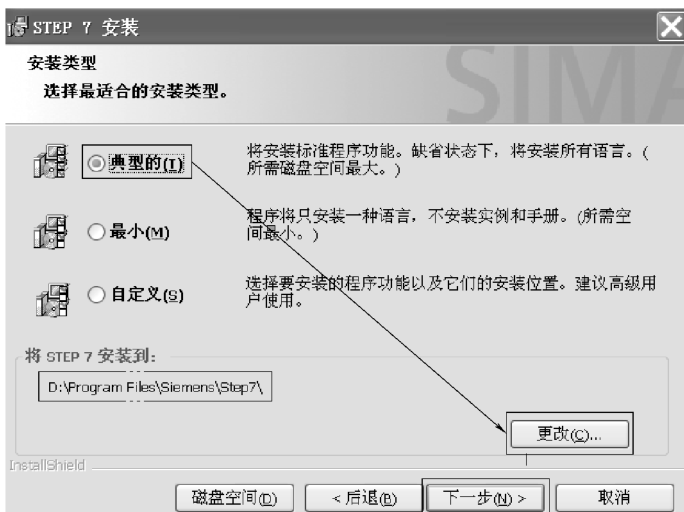


图6-67 Step7 V5.5的安装类型与路径选择画面

储器是为PC选择外部读卡器及其接口）并单击［确定］键。日后使用到存储卡时，可通过控制面板内的“存储卡参数赋值”来修改这些设置参数。

7）设置PG/PC接口（见图6-68）：进入PG/PC接口设置画面有2种方法：①双击PC桌面的“SIMATIC Manager”图标，打开Step7 V5.5软件后，单击“选项”下拉菜单内的“设置PG/PC接口”项，即可进入。②通过Windows开始菜单“开始→控制面板→设置PG/PC接口”，即可进入。Step7 V5.5安装后期还会出现“设置PG/PC接口”画面，此时，既可在“为使用的接口分配参数”栏内选择PG/PC与PLC通信的接口参数（若未显示所需要的接口参数，需用［选择］按钮先安装模板或协议，然后自动生成接口参数）及设置应用程序访问点为S7ONLINE；也可先单击画面内的［取消］键以忽略这一步骤，待软件安装完成后，再通过SIMATIC管理器或控制面板中的“设置PG/PC接口”项随时更改PG/PC接口的设置（设置方法参见第5.2.3节）。



图6-68 Step7 V5.5的PG/PC接口设置画面

8）Step7 V5.5 安装结束并确认后，会开始自动安装授权管理工具 Automation License Manager。安装完成后，据画面提示选择立即重启计算机。

9）Step7 V5.5 的许可证分类及许可证密钥的使用。

① 许可证的分类：可分为单独许可证、浮动许可证、试用许可证和升级许可证四类。其中，单独许可证所对应的 Step 7 软件仅能在一台计算机上使用，没有时间限制；浮动许可证只允许一台客户机使用且无时间限制（其密钥安装在网络服务器上）；试用许可证的有效期为 14 天，到期后不能通过卸载和重新安装的方法再次获取有效期；升级许可证用于软件版本的升级。

② 许可证密钥的使用：用已安装完毕的授权管理工具 Automation License Manager 将 Step7 软件的许可证密钥传送至计算机的硬盘上，就可在该计算机上使用许可证密钥对应的软件了。若没有许可证密钥，可通过网络购买文件名为 Simatic_ EKB_ Install_ 2010_ 05_ 09 的西门子超级授权软件。使用时，双击 Simatic_ EKB_ Install_ 2010_ 05_ 09. exe，出现图 6-69 所示的画面，选择 Step7 列表内的 Step7 V5.5 2010，用“√”选中 A1710455，单击上方的钥匙图标“Install Long”进行无限期授权。授权生成的密钥会以受保护的操作系统文件的形式被默认存储在计算机 D 盘（也可设为其他磁盘分区）根目录下的 AX NF ZZ 文件夹内。若要删除此文件内被隐藏的密钥文件 A1710455. EKB 和 A1710455. HRD，则需打开磁盘分区 D→单击“ 工具”菜单内“文件夹选项”中的“查看”栏目→选择“显示所有文件和文件夹”，并把“隐藏受保护的操作系统文件”前的“√”去掉→单击［确定］键→密钥文件便显示在 AX NF ZZ 文件夹内。此时，双击桌面图标“Automation License Manager”打开授权管理工具，双击左侧本地磁盘（D:）后，右边将显示检测到的许可证密钥（见图 6-70）。在密钥上单击右键并选择“Check”项，单击提示画面的［OK］键后，Step 7 V5.5 便可无限期使用了。

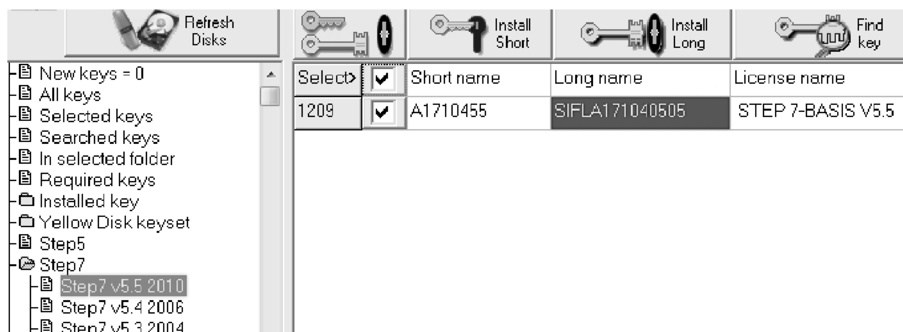


图 6-69　Step7 V5.5 的超级授权



图 6-70　经超级授权后 Automation License Manager 内的许可证密钥

3. Toolbox 工具盘的安装

在 SINUMERIK 810D/840D（i）/840Dsl 系统中，如果编程/维修人员未在计算机上安装对应版本的 Toolbox 工具盘内的 PLC 基本程序等内容（见图 6-71），那么在 Step7 V5.5 的硬件组态工具中就不存在 SINUMERIK 系统内置 S7-300PLC 的硬件信息。将 SINUMERIK 系统 PLC 的所有资源上装（或上传）至计算机时，就会出现系统组态出错的提示并终止上装操作。因此，必须在计算机的 Step7 软件基础上安装 Toolbox 工具盘文件（版本不同则内容可能不完全相同）。下面介绍 V7.4.1 版本 Toolbox 工具盘内容的安装过程。

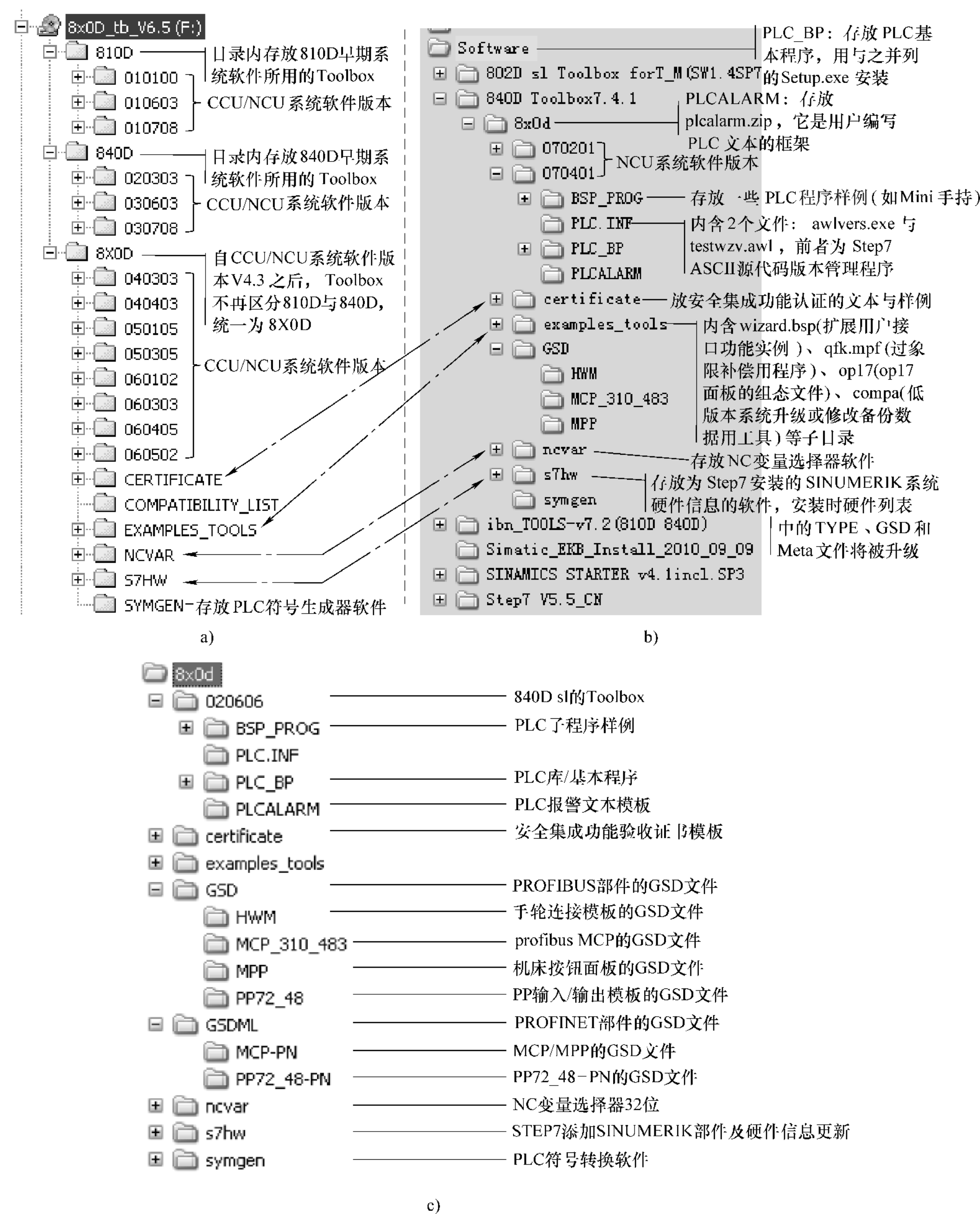


图 6-71 SINUMERIK 810D/840D（i）/840Dsl 系统的 Toolbox 工具盘文件目录

a）810D/840D（i）系统的 Toolbox（V6.5）目录 b）810D/840D（i）系统的 Toolbox（V7.4.1）目录

c）840Dsl 系统的 Toolbox（V2.6）目录

1）在 Step7 V5.5 正确安装和许可证密钥有效的前提下，双击 840D Toolbox7.4.1 文件夹内的 setup.exe 开始 Toolbox 工具盘内容的安装。若出现 “Please restart Windows before installing new programs” 的提示画面，可不必重启计算机，只要进入注册表编辑器（Windows 命令：开始→运行→输入 regedit）的文件夹 HKEY_ LOCAL_ MACHINE \ System \ CurrentControlSet \ Control \ Session Manager 内（见图 6-51），删除注册表值 “PendingFileRenameOperations” 即可。

2）重新双击 setup.exe，选择 Setup language（安装语言）为 English（英语），据画面提示依次单击［Next］键（2 次）和［Yes］键后，进入图 6-72 所示的工具软件安装选择画面。图中 1 为 PLC 基本程序，必须安装，且应与 CCU/NCU 系统软件的版本相对应。2 为 STEP7 软件安装的 SINUMERIK 系统硬件信息，必须安装。3 为 NC 变量选择器，仅在用到 PLC 读写 NC 变量的功能（如 FB2/FB3）时才安装。4 为 PLC 符号生成器，可不安装。选择需要的安装项目并单击［Next］键后，开始 Toolbox 工具盘内容的安装。

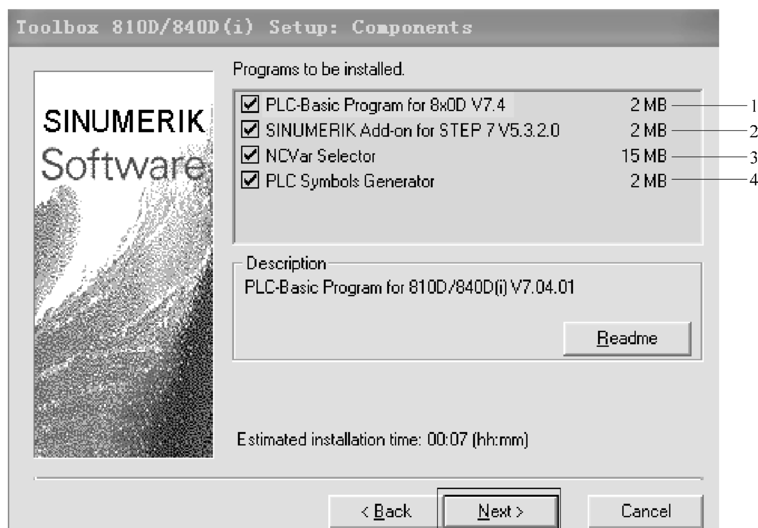


图 6-72 SINUMERIK 系统 Toolbox 工具盘（V7.4.1）的安装选择画面

3）若安装时未选择 NCVar Selector，耐心等待安装数分钟后，单击［Finish］键便可完成 Toolbox 工具盘（V7.4.1）的安装。若安装时选择了 NCVar Selector，耐心等待安装数分钟后，会出现图 6-73 所示的画面。为 NC 变量选择器选择安装语言为英语，据画面提示依次单击［确定］键和［Next］键后，进入图 6-74 所示的画面。设置 NC 变量选择器的安装路径为 “d：\ Program Files \ SIEMENS \ NCVar Selector”，依次单击［OK］键、［Next］键（2 次）和［Finish］键，完成 NCVar Selector 的安装。



图 6-73 Toolbox 工具盘（V7.4.1）中 NC 变量选择器的安装语言选择



图6-74　Toolbox工具盘（V7.4.1）中NC变量选择器的安装路径设置

4）若安装时选择了PLC Symbols Generator，则在完成NC变量选择器的安装后，会继续安装PLC符号生成器。等待安装几分钟后，据画面提示单击［Finish］键，便可完成PLC符号生成器的安装。至此，SINUMERIK系统Toolbox工具盘（V7.4.1）的安装完毕。

5）双击桌面图标“SIMATIC Manager”打开Step7软件，通过执行菜单命令“文件→打开→库→gp8x0d74→确定”，即可显示图6-75所示的PLC基本程序库画面（它是编写PLC用户程序的基础）。同时，Step7的硬件组态工具（HW Config）中就会增添SINUMERIK系统内置S7－300 PLC的硬件信息或固件版本。

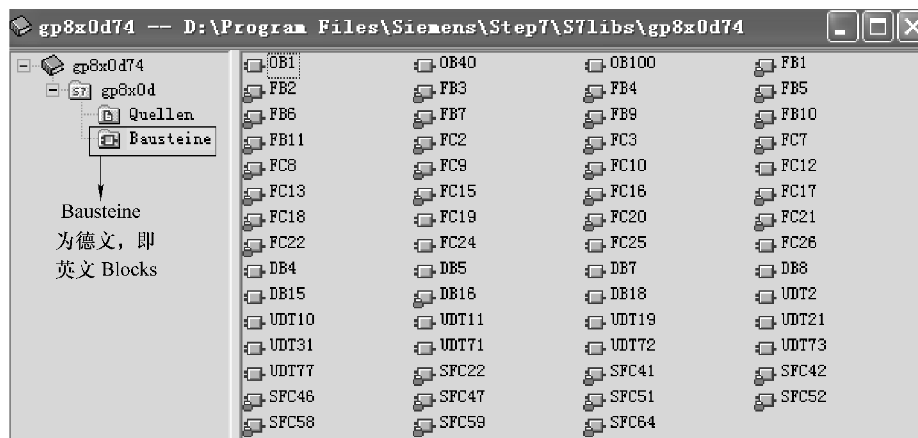


图6-75　Step7 V5.5中的PLC基本程序库画面

注：Toolbox版本不同，OB、FB、FC等逻辑块不完全相同

4. HW Config中硬件的更新

在SINUMERIK系统内置S7－300 PLC的设计初期，编程人员会根据数控机床中输入、输出

信号的性质与点数，以及对 PLC 控制系统的功能要求，使用标准工具 Step7 对机床所需的硬件进行配置，例如 PLC 的 CPU 类型、电源模块的型号（PS－300）、信号模块/功能模块/通信模块的型号和数量（单机架总块数不超过 8 块）、扩展机架的配置（SINUMERIK 系统中机架 Rack0 被机床控制面板等操作部件占用而必须配置扩展机架 Rack1～3）与接口模块 IM 的选用等。在机床调试与日常使用阶段，维修人员会通过 CP5512 等通信硬件与 MPI 电缆来实现计算机与 S7－300 PLC 之间的在线连接，以便进行 PLC 程序的上装、在线监控或修改等操作。当所用标准工具 Step7 的版本较低时，就不能组态最新的硬件或固件版本，此时必须在硬件组态工具（HW Config）中对硬件进行升级。升级过程如下：

1）选中 SIMATIC 管理器左边的站对象（如 NCU572.5），双击右边窗口的“硬件”图标，便可打开硬件组态工具（见图 6-76）。

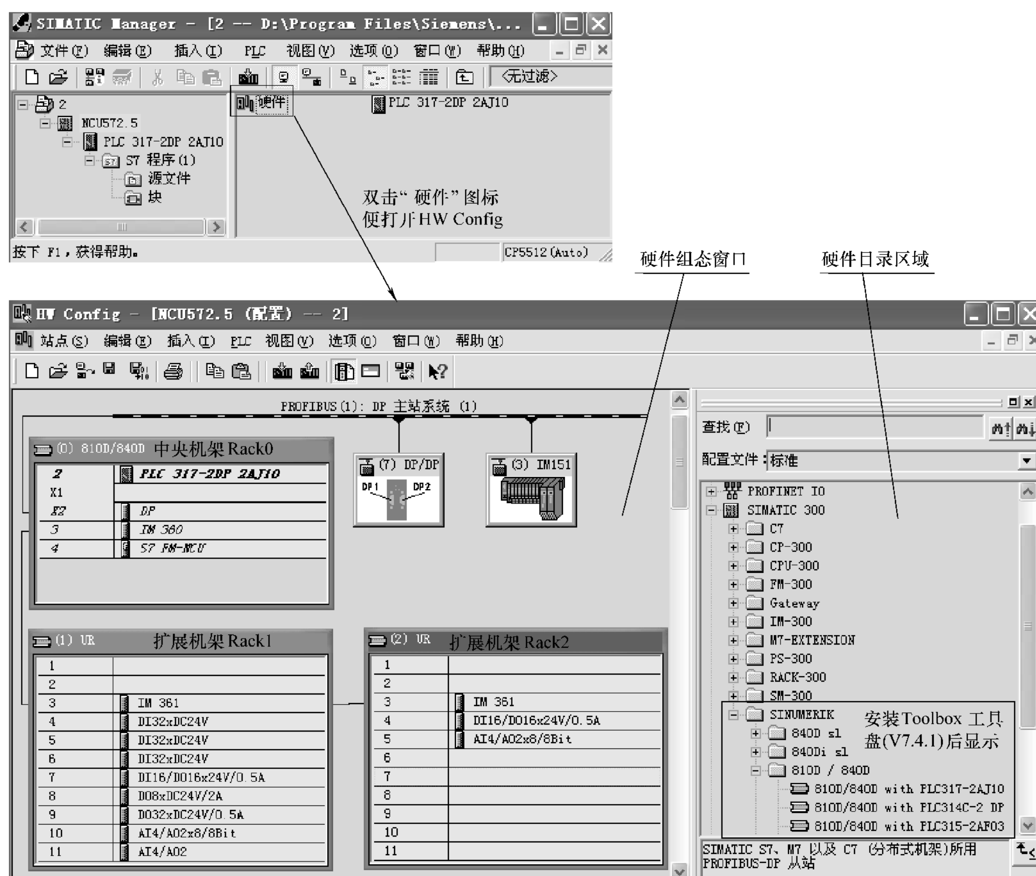


图 6-76　Step7 V5.5 的 HW Config 窗口（Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机）

2）在 HW Config 中执行菜单命令“选项→安装 HW 更新”，出现安装硬件升级版画面。单击画面内的［设置］键后，在设置值对话框内设置硬件升级的 Internet 地址（默认）为 http://www.siemens.com/automation/step7－hwconfig2 以及 HW 升级版的存储文件夹为 d：\HWUpdates（默认值为 c：\HWUpdates），单击［确定］键，返回安装硬件升级版画面。用单选框选中“从 Internet 下载”项并单击［执行］键后，开始硬件目录的下载。目录下载完毕后，在弹出的下载硬件升级版画面中的硬件列表内，用“√”选中需要下载的硬件或单击下方的［全选］键选中列表内的所有硬件，单击［下载］键，便开始下载 PLC－CPU、分布式 I/O 设备 ET200、通信模

块和功能模块等硬件信息。下载完成后，硬件列表内所选硬件的下载状态由否变为是，单击［关闭］按键返回安装硬件升级版画面。依次单击此画面内的［全选］键与［安装］键，据画面提示单击［是］键以确认硬件更新的安装，退出Step7应用程序并开始硬件更新的安装。硬件更新的安装过程，如图6-77所示。安装完毕后，弹出“所选择的硬件升级版已经成功安装”画面，单击［确定］键，此时安装硬件升级版画面中列表内硬件的已安装状态由否变为是，单击［关闭］键返回HW Config窗口。



图6-77　HW Config窗口（Step7 V5.5）内硬件更新的安装过程

5. GSD文件的安装

标准工具Step7内不包含机床控制面板与输入/输出模块PP72/48等硬件的配置文件，需要另行安装GSD文件。GSD文件是可读的ASCII码文本文件，包括通用的与设备有关的通信方面技术规范，可分为总规范、主站规范和与DP从站有关的规范3个部分。其中，总规范包括生产厂商和设备名称、硬件和软件版本、传输速率、监视时间间隔、总线连接器的信号分配等，主站规范包括用于主站的各项参数（如最大可连接的从站个数与上装/下载的选项），与DP从站有关的规范包括I/O通道个数、类型和诊断数据等信息。各个生产厂家以GSD文件的形式提供MCP、PP72/48等Profibus部件的功能参数后，机床制造厂家便可将它们集成在一起使用。GSD文件的安装步骤如下：

1）从制造商的网站上（如西门子中文网站的下载中心）下载相关产品的GSD文件，也可直接搜索“西门子自动化产品GSD文件大全”进行下载。

2）在图6-76所示的硬件组态工具窗口内，执行菜单命令“选项→安装 GSD 文件”，出现 GSD 文件安装画面。单击画面内的［浏览］键后，通过浏览文件夹选择包含 GSD 文件的路径并单击［确定］键，GSD 文件安装画面便会显示多个扩展名为 .GSD 的待安装文件（见图6-78）。单击［全选］键或用鼠标选中某个文件后，单击［安装］键，据画面提示单击［是］键以确认 GSD 文件的安装。安装完毕后，依次单击［确定］键与［关闭］键，返回 HW Config 窗口。



图6-78 HW Config 窗口（Step7 V5.5）内 GSD 文件的安装

3）待 MCP、PP72/48 等 Profibus 部件的 GSD 文件安装好后，还需在 HW Config 窗口执行菜单命令“选项→更新目录”以更新硬件列表。然后在 HW Config 窗口的硬件目录区域（见图6-76）内，目录 PROFIBUS DP→Additional Field Devices→Drives→IO 下找到 PP 输入/输出模块，目录 PROFIBUS DP→Additional Field Devices→NC/RC→MOTION CONTROL 下找到手轮连接模块、Profibus MCP 和机床按键面板 MPP，如图6-79 所示。安装好的 GSD 文件将被 Step7 存储在“□：\Program Files\SIEMENS\Step7\S7DATA\GSD”文件夹内，□代表磁盘符号 C 或 D 等。



图6-79 HW Config 窗口内 SINUMERIK 系统所用的 Profibus 部件

6.3.4 通过标准工具 Step7 上装/下载 PLC 程序

对于选用了 SINUMERIK 810D/840D（i）/840Dsl 系统的数控机床，在机床设计阶段，需借助

Step7 在 SINUMERIK 系统 S7 -300 PLC 基本程序（需安装随机的 Toolbox 工具盘）的基础上进行硬件组态与 PLC 用户程序的开发；在机床调试阶段，需借助 Step7 在线监控机床的运行及优化调整 PLC 用户程序；在机床日常使用阶段，需借助 Step7 替换损坏的过程映像输入地址（I）或输出地址（Q）。不管是机床设计、调试阶段，还是机床维修阶段，均得利用外设 PG/PC 上的标准工具 Step7 和相应的通信电缆（SINUMERIK 810D/840D 系统为 CP5512 和 MPI 电缆，SINUMERIK 840Dsl 系统为 Peer - to - Peer 以太网通信的交叉 TP 电缆）来实现 PLC 程序的上装与下载。

1. Step7 经 CP5512 与 MPI 电缆实现 SINUMERIK 810D/840D 系统 PLC 程序的上装

1）CP5512 与 MPI 电缆的连接：将 CP5512 卡插入笔记本计算机的 PCMCIA 插槽内，经 HW 适配器与 MPI 电缆的一端进行连接（见图 5-27）。MPI 电缆的另一端插在 CCU 模块（SINUMERIK 810D）上的 X122 接口或 NCU 模块（SINUMERIK 840D）上的 X122 接口。

2）设置 PG/PC 接口：设置方法参见第 5. 2. 3 节。

3）新建一个项目：在打开的 SIMATIC 管理器画面内，执行菜单命令“文件→新建”以弹出新建项目画面，设定项目名称（如 2）和存储路径（如 D: \ Program Files \ Siemens \ Step7 \ s7proj）后，单击［确定］键即可完成新建项目的创建。

4）在刚刚创建的项目中，执行菜单命令“PLC→将站点上传至 PG”，弹出选择节点地址画面，单击画面内的［显示］键后，将会显示 MPI 网络中可访问的节点（即站点），如图 6-80 所示。选中 SINUMERIK 810D 或 840D 系统内置 S7 -300 PLC 所在的节点（840D 与 810D 系统中 PLC 的 MPI 地址分别为 13 和 2）并单击［确定］键，开始将 SINUMERIK 系统侧的 PLC 资源（硬件配置、系统数据和逻辑块等）上装至计算机侧 Step7 打开的项目中，项目中的原有内容将被覆盖。

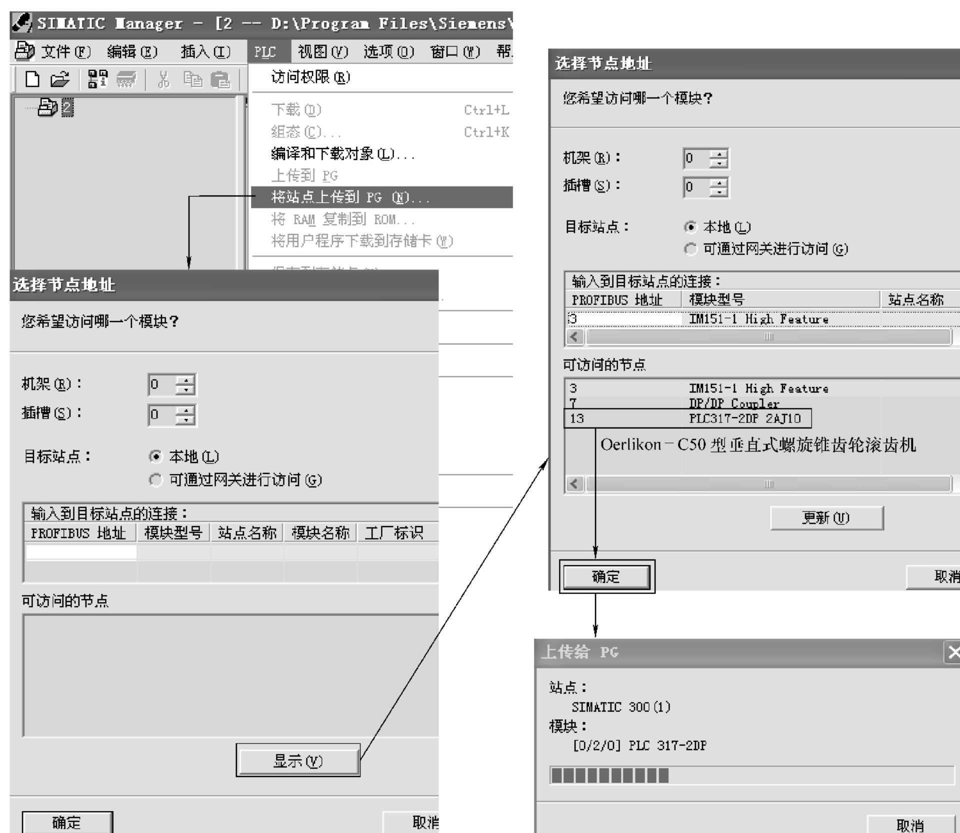


图 6-80　SINUMERIK 810D/840D 系统 PLC 程序的上装过程（Step7 V5. 5）

5）上装完毕后，将会在 SIMATIC 管理器画面内显示该机床的 PLC 系统数据和逻辑块等内容，并可清晰地看出 S7－300 的 PLC 程序结构由块（Block）组成——组织块（OB）、功能块（FB）、功能（FC）、系统功能块（SFB）、系统功能（SFC）和数据块（DB），如图 6-81 所示。其中，组织块（见表 6-26）是操作系统与用户程序之间的接口，它由操作系统调用并控制循环程序和中断驱动程序的执行以及 PLC 的启动与错误处理；功能块（见表 6-27）是用户编写的具有自己存储区（背景数据块）的逻辑块，FB 的输入、输出变量和静态变量（STAT）存放在指定的背景数据块（DI）中，临时变量存储在局部数据堆栈中，并且 DI 中数据在 FB1 执行完后不会丢失，但局部数据堆栈中的数据会丢失；功能（见表 6-28）是用户编写的无固定存储区的逻辑块，其临时变量存储在局域数据堆栈中并在 FC 执行结束后丢失，可使用共享数据块来存储那些在 FC 执行结束后需要保存的数据，但不能为 FC 的局部数据分配初始值；系统功能块（见表6-29）与系统功能（见表 6-30）均被集成在 S7 CPU 的操作系统中，是预先编写好的不占用程序空间的程序逻辑块，可在用户程序中调用这些块，但用户不能对其修改，SFB 具有存储功能并将其变量保存在指定给它的背景数据块内，而 SFC 不具有存储功能；数据块（见表 6-31）是用来存放用户程序工作时所需变量数据的无指令数据区，Step7 会按数据生成的顺序自动地为 DB 中变量分配地址，可分为共享数据块和背景数据块。

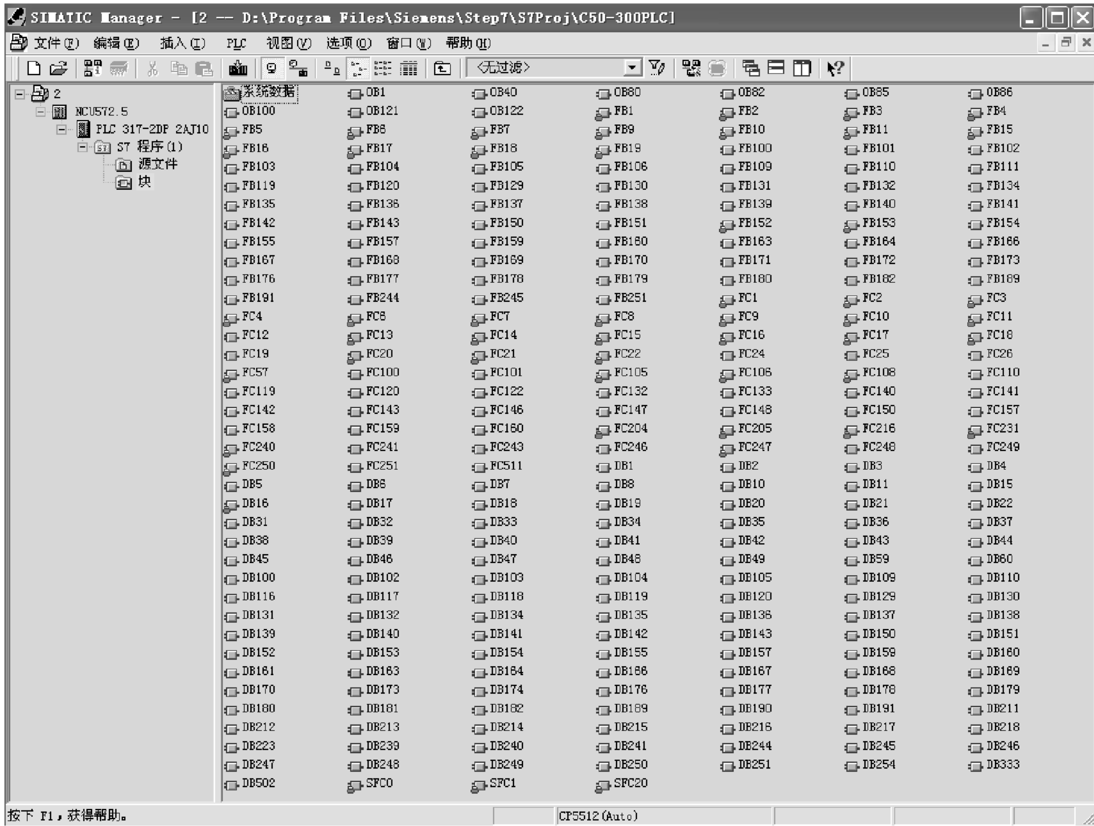


图 6-81　Oerlikon－C50 型垂直式螺旋锥齿轮滚齿机的 PLC 程序上装结果

注：未使用 SFB 逻辑块

表 6-26　S7 –300 PLC 的组织块（OB）一览

OB 编号	启动事件	默认优先级	说　　明
OB1	启动或上一次循环结束时执行 OB1	1（最低级别）	主程序循环，操作系统周期性地执行 OB1，可在 OB1 中调用 FB/FC/SFB/SFC
OB10 ~ OB17	日期时间中断 0 ~ 7	2	在设置的日期和时间启动
OB20 ~ OB23	时间延迟中断 0 ~ 3	3 ~ 6	延时后启动
OB30 ~ OB38	循环中断 0 ~ 8	7 ~ 15	以设定的时间为周期运行，依次对应 5s、2s、1s、500ms、200ms、100ms、50ms、20ms、10ms
OB40 ~ OB47	硬件中断 0 ~ 7	16 ~ 23	检测到来自外部模块的中断请求时启动
OB55	状态中断	2	DPV1 中断（Profibus – DP 中断）
OB56	刷新中断	2	
OB57	制造厂商特殊中断	2	
OB60	多处理器中断，调用 SFC35 时启动	25	多处理器中断的同步操作
OB61 ~ OB64	同步循环中断 1 ~ 4	25	
OB65	技术功能同步中断	25	
OB70	I/O 冗余错误	25	冗余故障中断，仅用于 H 系列 CPU
OB72	CPU 冗余错误，如 1 个 CPU 发生故障	28	冗余故障中断，仅用于 H 系列 CPU
OB73	通信冗余错误，如冗余连接的冗余丢失	25	冗余故障中断，仅用于 H 系列 CPU
OB80	时间错误	26，启动时为 28	异步错误中断
OB81	电源故障	26，启动时为 28	异步错误中断
OB82	诊断中断	26，启动时为 28	异步错误中断
OB83	插入/拔出模块中断	26，启动时为 28	异步错误中断
OB84	CPU 硬件故障	26，启动时为 28	异步错误中断
OB85	优先级错误	26，启动时为 28	异步错误中断
OB86	扩展机架、DP 主站系统或分布式 I/O 站故障	26，启动时为 28	异步错误中断
OB87	通信故障	26，启动时为 28	异步错误中断
OB88	过程中断	28	异步错误中断
OB90	背景组织块	29	背景循环
OB100	CPU 暖启动（手动暖启动时，模式选择开关扳至 STOP 位置，待 STOP LED 点亮后再扳至 RUN 或 RUN – P 位置）	27	暖启动时，过程映像数据及非保持的存储器位、定时器和计数器被复位，保持功能的存储器位、定时器、计数器和所有的 DB 块保留原值，PLC 重新运行，且执行 OB100 后，循环执行 OB1
OB121	编程错误	与引起中断的 OB 有相同的优先级	同步错误中断
OB122	I/O 访问错误		同步错误中断

表 6-27 SINUMERIK 系统 Toolbox 工具盘内 PLC 基本程序提供的功能块（FB）一览

FB 编号	FB 名称	说　明
0～29		西门子保留，用户定义的功能块不能与其冲突
1	RUN_ UP	基本程序，引导；对控制面板与手持单元进行定义，如 MCP 与 HU 的输入起始地址、输出起始地址，MCP 与 HU 的数量，MPI 总线地址
2	GET	读取 NC 变量；可用 FB2 读出当前正在执行程序的行号，并写至 R 参数中进行记录，当突然断电时，用户根据 R 参数中的数值即可得知程序执行至何处，再用程序段搜索功能，继续从被中断的程序段开始加工
3	PUT	写 NC 变量至 NCK；经 1 个上升沿的请求任务信号 Req 启动 FB3 的调用，任务启动后，写 PLC 数据 SD1～SD8 到对应的 NC 变量 Addr1～Addr8 中
4	PI_ SERV	PI 服务，用于在 NCK 中启动 1 个程序任务服务；ASUP 为分配中断任务，CANCEL 为执行取消任务，CONFIG 为重新配置机床数据 MD 的值，DIGION 为在指定的通道内激活数字化，DIGIOF 为在指定的通道内取消数字化，FINDBL 为激活段搜索功能，LOGIN 为激活密码服务，LOGOUT 为触发 NC RESET，SELECT 为设置当前的用户数据（如刀具偏置、坐标变换与可设定坐标系等），SETUDT 为激活用户坐标变换功能，CRCEDN 为通过指定刀沿号建立新刀沿，CREACE 为建立下一个未分配的刀沿号，CREATO 为通过指定 T 号建立刀具，SETUFR 为激活用户坐标变换，DELECE 为删除刀沿，DELETO 为删除刀具，MMCSEM 为 MMC 或 PLC 的各种 PI 服务的信号指示，TMCRTO 为建立刀具，TMFDPL 为搜索用于装刀的空刀位，TMFPBP 为搜索空刀位，TMMVTL 为准备用于装载/卸载刀具的刀位，TMPOSM 为刀位或刀具的位置，TMPCIT 为设置工件计数器的增量值，TRESMO 为复位监控值，TM-RASS 为复位激活状态，TSEARC 为用于搜索屏幕表格的复杂搜索
5	GETGUD	自 NCK 重读取 GUD 用户自定义的变量
7	PI_ SERU2	通用 PI 服务，可参照 FB4，与 FB4 的区别是 WVar1 的数量以及参数序列，所有 FB4 的功能均可通过 FB7 实现
29		信号记录器和数据触发器的诊断
36～255		用于 810D、840D，用户指定

表 6-28 SINUMERIK 系统 Toolbox 工具盘内 PLC 基本程序提供的功能（FC）一览

FC 编号	FC 名称	说　明
0		西门子保留，用户定义的功能块不能与其冲突
2	GP_ HP	基本程序，在 OB1 循环的开始部分；NCK 与 PLC 交互通信
3	GP_ PRAL	基本程序，报警控制部分
5	GP_ DIAG	基本程序，诊断报警（FM－NC）
7	TM_ REV	用于圆形刀库中刀具更换的传输程序块
8	TM_ TRANS	用于刀具管理的传输程序块
9	ASUP	自 PLC 中启动 1 个异步子程序
10	AL_ MSG	报警/信息；PLC 报警→传给 NCK→NC 采取措施并在 MMC 上显示报警文本，调用 FC10 需设置 2 个参数：TouserIF＝TRUE（相当于 1）和 FALSE（相当于 0），Quit：＝I3.7（报警文本，报警 RESET 键的地址 I3.7）
12	AUXFU	调用用户辅助功能接口
13	BHG_ DISP	显示控制手持装置

（续）

FC 编号	FC 名称	说　　明
15	POS_ AX	用于线性轴及旋转轴的定位功能；自系统软件版本 SW3.6 后，FC15 的功能被集成在 FC18 中，故新应用场合中不再调用 FC15
16	PART_ AX	用于索引轴（分度轴）的定位；自系统软件版本 SW3.6 后，FC16 的功能被集成在 FC18 中，故新应用场合中不再调用 FC16
17	YDelta	星形—三角形切换
18	SpinCtrl	PLC 轴/主轴的控制，支持主轴定位/旋转/摆动、索引轴及定位轴
19	MCP_ IFM	机床控制面板和 MMC 信号分配接口（铣床版）
21	Transfer	传输数据交换 PLC - NCK
22	TM_ DIR	方向选择
24	MCP_ IFM2	MCP 信号传输接口
25	MCP_ IFT	机床控制面板和 MMC 信号分配接口（车床版）
36 ~ 255		用于 810D、840D，用户指定

表 6-29　S7 -300 PLC 的系统功能块（SFB）一览

SFB 编号	SFB 名称	说　　明	SFB 编号	SFB 名称	说　　明
SFB 0	CTU	加计数	SFB 29	HS_ COUNT	集成的高速计数器
SFB 1	CTD	减计数	SFB 30	FREQ_ MES	集成的频率计
SFB 2	CTUD	加/减计数	SFB 31	NOTIFY_ 8P	生成不带应答指示的与块相关的报文
SFB 3	TP	生成 1 个脉冲	SFB 32	DRUM	实现 1 个顺序控制器
SFB 4	TON	产生 ON 延迟	SFB 33	ALARM	生成带应答指示的与块相关的报文
SFB 5	TOF	产生 OFF 延迟	SFB 34	ALARM_ 8	生成与 8 个信号值无关的与块相关的报文
SFB 8	USEND	不对等的数据发送	SFB 35	ALARM_ 8P	生成与 8 个信号值无关的与块相关的报文
SFB 9	URCU	不对等的数据接收	SFB 36	NOTIFY	生成不带应答指示的与块相关的报文
SFB 12	BSEND	发送段数据	SFB 37	AR_ SEND	发送归档数据
SFB 13	BRCV	接收段数据	SFB 38	HSC_ A_ B	集成的 A/B 相高速计数器
SFB 14	GET	从远程 CPU 读数据	SFB 39	POS	集成的定位功能
SFB 15	PUT	向远程 CPU 写数据	SFB 41	CONT_ C	连续 PID 控制
SFB 16	PRINT	发送数据到打印机	SFB 42	CONT_ S	步进 PID 控制
SFB 19	START	初始化远程装置的暖启动或冷启动	SFB 43	PULSEGEN	脉冲发生器
SFB 20	STOP	将远程装置切换至 STOP 状态	SFB 44	ANALOG	使用模拟输出的定位
SFB 22	STATUS	查询远程装置的状态	SFB 46	DIGITAL	使用数字输出的定位
SFB 23	USTATUS	接收远程装置的状态	SFB 47	COUNT	计数器控制

（续）

SFB 编号	SFB 名称	说　明	SFB 编号	SFB 名称	说　明
SFB 48	FREQUENC	频率测量控制	SFB 61	RCV_ PTP	接收数据（ASCII 协议或 3964 协议）
SFB 49	PULSE	脉冲宽度调制控制	SFB 62	RES_ RCVB	删除接收缓冲区（ASCII 协议或 3964 协议）
SFB 52	RDREC	自 DP 从站读数据记录	SFB 63	SEND_ RK	发送数据（RK512 协议）
SFB 53	WRREC	向 DP 从站写数据记录	SFB 64	FETCH_ RK	获取数据（RK512 协议）
SFB 54	RALRM	自 DP 从站接收中断	SFB 65	SERVE_ RK	接收/提供数据（RK512 协议）
SFB 60	SEND_ PTP	发送数据（ASCII 协议或 3964 协议）	SFB 75	SALRM	向 DP 主站发送中断

表 6-30　S7 –300 PLC 的系统功能（SFC）一览

SFC 编号	SFC 名称	说　明	SFC 编号	SFC 名称	说　明
SFC 0	SET_ CLK	设置系统时钟	SFC 14	DPRD_ DAT	读标准 DP 从站的一致性数据
SFC 1	READ_ CLK	读取系统时钟	SFC 15	DPWR_ DAT	写标准 DP 从站的一致性数据
SFC 2	SET_ RTM	设置运行时间定时器	SFC 17	ALARM_ SQ	生成可应答的与块相关的报文
SFC 3	CTRL_ RTM	启动/停止运行时间定时器	SFC 18	ALARM_ S	生成永久性的可应答的与块相关的报文
SFC 4	READ_ RTM	读取运行时间定时器	SFC 19	ALARM_ SC	查询最后的 ALARM_ SQ 状态报文的应答状态
SFC 5	GADR_ LGC	查询通道的逻辑地址	SFC 20	BLKMOV	复制多个变量
SFC 6	RD_ SINFO	读取 OB 的启动信息	SFC 21	FILL	初始化存储器
SFC 7	DP_ PRAL	触发 DP 主站硬件中断	SFC 22	CREAT_ DB	生成 1 个数据块
SFC 9	EN_ MSG	激活与块相关、符号相关和组状态的信息	SFC 23	EL_ DB	删除 1 个数据块
SFC 10	DIS_ MSG	禁止与块相关、符号相关和组状态的信息	SFC 24	TEST_ DB	测试 1 个数据块
SFC 11	SYC_ FR	同步或锁定 DP 从站	SFC 25	COMPRESS	压缩用户存储器
SFC 12	D_ ACT_ DP	激活或取消 DP 从站	SFC 26	UPDAT_ PI	刷新过程映像输入表
SFC 13	DPNRM_ DG	读取 DP 从站的诊断信息（从站诊断）	SFC 27	UPDAT_ PO	刷新过程映像输出表

（续）

SFC 编号	SFC 名称	说明	SFC 编号	SFC 名称	说明
SFC 28	SET_ TINT	设置实时钟中断	SFC 51	RDSYSST	读取系统状态表或局部系统状态表
SFC 29	CAN_ DINT	取消实时钟中断	SFC 52	WR_ USMSG	将用户定义的诊断事件写入诊断缓冲器
SFC 30	ACT_ TINT	激活实时钟中断	SFC 54	RD_ PARM	读定义的参数
SFC 31	QRY_ TINT	查询实时钟中断状态	SFC 55	WR_ PARM	写入动态参数
SFC 32	SRT_ DINT	启动延迟中断	SFC 56	WR_ DPARM	写入默认的参数
SFC 33	CAN_ DINT	取消延迟中断	SFC 57	PARM_ MOD	指定模块的参数
SFC 34	QRY_ DINT	查询延迟中断	SFC 58	WR_ REC	写入 1 个数据记录
SFC 35	MP_ ALM	触发多 CPU 中断	SFC 59	RD_ REC	读取 1 个数据记录
SFC 36	MSK_ FLT	屏蔽同步错误	SFC 60	GD_ SND	发送全局数据包
SFC 37	DMSK_ FLT	解除对同步错误的屏蔽	SFC 61	GD_ RCV	接收全局数据包
SFC 38	READ_ ERR	读错误寄存器	SFC 63	AB_ CALL	调用汇编代码块
SFC 39	DIS_ IRT	禁止新的中断和异步错误处理	SFC 64	TIME_ TCK	读取系统时间
SFC 40	EN_ IRT	允许新的中断和异步错误处理	SFC 65	X_ SEND	将数据送至局域 S7 站外的 1 个通信伙伴
SFC 41	DIS_ AIRT	延迟高优先级的中断和异步错误处理	SFC 66	X_ RCV	接收局域 S7 站外 1 个通信伙伴的数据
SFC 42	EN_ AIRT	允许高优先级的中断和异步错误处理	SFC 67	X_ GET	读取局域 S7 站外 1 个通信伙伴的数据
SFC 43	RE_ TRIGR	重新触发扫描时间监视	SFC 68	X_ PUT	将数据写入局域 S7 站外的 1 个通信伙伴
SFC 44	REPL_ VAL	将替换值传送至 ACCU1	SFC 69	X_ ABORT	中止与局域 S7 站外的 1 个通信伙伴的连接
SFC 46	STP	CPU 切换至 STOP 模式	SFC 72	I_ GET	自局域 S7 站内的 1 个通信伙伴读取数据
SFC 47	WAIT	延迟用户程序的执行	SFC 73	I_ PUT	将数据写入局域 S7 站内的 1 个通信伙伴
SFC 48	SNC_ RTCB	同步从站的实时钟	SFC 74	I_ ABORT	中止与局域 S7 站内的 1 个通信伙伴的连接
SFC 49	LGC_ GADR	查询 1 个逻辑地址的插槽和机架	SFC 78	OB_ RT	确定 OB 程序运行时间
SFC 50	RD_ LGADR	查询模块所有的逻辑地址	SFC 79	SET	置位输出范围

（续）

SFC 编号	SFC 名称	说　　明	SFC 编号	SFC 名称	说　　明
SFC 80	RSET	复位输出范围	SFC 102	RD_ DPARA	重新定义参数
SFC 81	UBLKMOV	不间断的块移动	SFC 103	DP_ TOPOL	识别 DP 主系统中的总线拓扑
SFC 82	CREA_ DBL	生成装载存储器中的 1 个数据块	SFC 104	CiR	控制 CiR
SFC 83	READ_ DBL	读取装载存储器中的 1 个数据块	SFC 105	READ_ SI	读动态系统资源
SFC 84	WRIT_ DBL	写入装载存储器中的 1 个数据块	SFC 106	DEL_ SI	删除动态系统资源
SFC 87	C_ DIAG	实际连接状态的诊断	SFC 107	ALARM_ DQ	生成可应答的与块相关的报文
SFC 90	H_ CTRL	H 系统的控制操作	SFC 108	ALARM_ D	生成永久的可应答的与块相关的报文
SFC 100	SET_ CLKS	设置日期时间及状态	SFC 126	SYNC_ PI	同步刷新过程影响输入表
SFC 101	RTM	处理运行时间计时器	SFC 127	SYNC_ PO	同步刷新过程影响输出表

表 6-31　SINUMERIK 系统 Toolbox 工具盘内 PLC 基本程序提供的数据块（DB）一览

DB 号	说　　明	DB 号	说　　明
1	西门子保留	18	SPL 接口（安全集成）
2 ~4	PLC 信息	19	MMC 接口
5 ~8	基本程序	20	PLC 机床数据
9	NC 编译循环接口	21 ~30	NC 通道接口
10	NCK 接口	31 ~61	进给轴/主轴 1 ~31 的接口
11	方式组接口	62 ~70	用户可分配
12	PC 连接与通信系统	71 ~74	用户刀具管理
13 ~14	基本程序保留	75 ~76	M 组译码
15	基本程序	77	刀具管理缓冲器
16	PI 服务定义	78 ~80	西门子保留
17	版本号	81 ~127	用户可分配

2. Step7 经交叉 TP 电缆实现 SINUMERIK 840Dsl 系统 PLC 程序的下载

SINUMERIK 840Dsl 系统已不再像 810D/840D 系统通过 CP5512 和 MPI 电缆与外设 PG/PC 进行通信，而是采用交叉 TP 电缆与外设 PG/PC 进行 Peer –to –Peer 以太网通信。在此，以 SINUMERIK 840Dsl 系统 PLC 开机调试为例，介绍 S7 –300 PLC 程序的下载操作过程。

1）交叉 TP 电缆的制作与连接：交叉 TP 电缆的制作方法参见第 6. 3. 2 节。连接时，交叉 TP 电缆的一端接至 SINUMERIK 840Dsl 系统 NCU7n0（n =1/2/3）模块的 X127 接口上，另一端接至计算机的以太网口。

2）对 SINUMERIK 840Dsl 系统 PLC 进行首次开机调试前，应在接通和启动 NCU7n0 模块后，

先执行一次 PLC 总清，通过初始化整个系统与删除用户数据使 PLC 处于一个初始的输出状态。当然，在首次执行 PLC 总清前，必须先执行 NCK 总清。NCK 和 PLC 总清的操作步骤如下：

① 将 NCU 模块上的标签 SIM/NCK 所指示的 NCK 开机调试开关转至位置 1，标签 PLC 所指示的 PLC 运行方式开关转至位置 3 后，执行上电以接通 SINUMERIK 840Dsl 系统。

② 等待一段时间，直至 NCU 模块上的状态显示灯 STOP 持续闪烁，SF 点亮呈红色。

③ 短时转动 PLC 运行方式开关至位置 2（3s 内完成），再返回位置 3，状态显示灯 STOP 会闪烁约 2s 后点亮并持续。此时，先转动 NCK 开机调试开关至位置 0，使 NCK 正常启动，再转动 PLC 运行方式开关至位置 0，使 PLC 正常运行并允许修改 PLC 程序。

④ 待系统正常启动后，NCU 模块上的 7 段 LED 显示数字 6，且在其右下角有一个闪烁的点，状态显示灯 RUN 持续点亮呈绿色。

⑤ 重新启动一次 SINUMERIK 840Dsl 系统，使 NCK 与 PLC 处于循环运行模式下。至此 NCK 和 PLC 总清完毕。

3）在 Step7 的 SIMATIC 管理器内新建一个项目：首先确保标准工具 Step7 已安装了随机 Toolbox 工具盘的内容、更新了 HW Config 中的硬件及安装了 Profibus 部件的 GSD 文件，然后双击计算机的桌面图标 SIMATIC Manager，打开 Step7 的 SIMATIC 管理器画面。在画面内执行菜单命令“文件→新建”，新建名为 840Dsl_ PLC 的项目，并将其存储至 D：\ Program Files \ Siemens \ Step7 \ s7proj 中。

4）将 PLC 基本程序复制至项目 840Dsl_ PLC 中：在项目 840Dsl_ PLC 的 SIMATIC 管理器内，执行菜单命令“文件→打开→库→gp8x0d74（名称与 Toolbox 的版本有关）→确定”，打开 PLC 基本程序库。通过鼠标拖动或执行复制、粘贴命令，将 PLC 基本程序库内的 S7 程序整体复制至新建项目 840Dsl_ PLC 中（见图 6-82），然后关闭 PLC 基本程序库画面。



图 6-82 整体复制 PLC 基本程序至新建项目内（Step7 V5.5）

5）设定计算机的 IP 地址与 Step7 的 PG/PC 接口：

① 在计算机的“网络连接”中，选择“本地连接”进入本地连接网络的属性画面，选定 Internet 协议（TCP/IP）项进行 TCP/IP 的属性设置——自动获得 IP 地址（见图 6-62a）。

② 在 SIMATIC 管理器内执行菜单命令“选项→设置 PG/PC 接口”，或通过 Windows 开始菜单“开始→控制面板→设置 PG/PC 接口”，打开图 6-68 所示的设置 PG/PC 接口画面，为 Step7 分配接口“TCP/IP－＞Intel（R）82566MM Gigab…”，然后单击［确定］键完成 PG/PC 接口的设定。计算机所用以太网卡的名称可通过 Windows 开始菜单“开始→设置→网络连接”来查看。

6）对 SINUMERIK 840Dsl 系统进行硬件组态（又称硬件配置）：

① 在项目 840Dsl_ PLC 的 SIMATIC 管理器内，执行菜单命令“插入→站点→SIMATIC 300 站点”，建立一个名为（默认）“SIMATIC 300（1）”的站点。选中 SIMATIC 管理器左边的站对象

SIMATIC 300（1）后，双击右边窗口的“硬件”图标以打开项目 840Dsl_ PLC 的硬件组态工具窗口（参见图 6-76，只是此时硬件组态窗口处于空白状态）。

② 插入 NCU 硬件（见图 6-83）：在 HW Config 的硬件目录区域内，在目录 SIMATIC 300→SINUMERIK→840Dsl 下找到所使用的 NCU 硬件（如 NCU720. 1），鼠标点选目标硬件使其背景变为深色，用鼠标左键按住该目标硬件，移动鼠标至左边空白的硬件组态窗口区。Step7 自动弹出创建 Profibus 总线窗口，单击窗口内的［新建］按键创建 Profibus1（即 NCU7n0 模块上的 X126 接口）后，单击［确定］键关闭此窗口，同时空白的硬件组态窗口区内就会自动插入 NCU720. 1 硬件（占用中央机架 Rack0）及其组态信息。

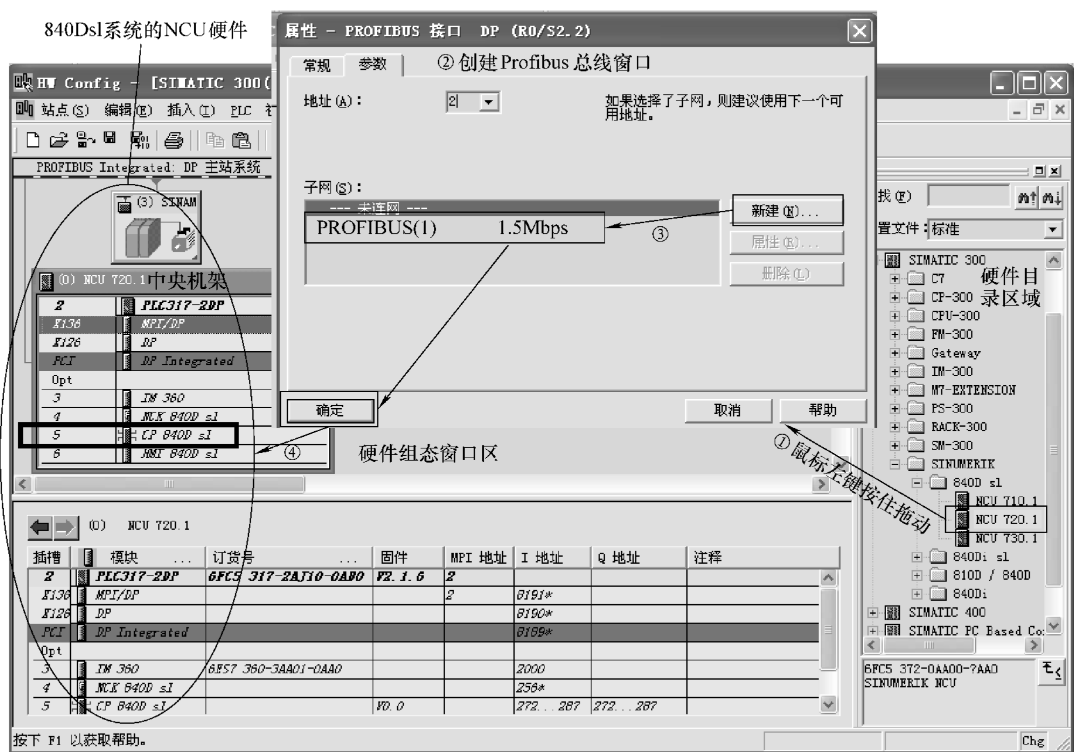
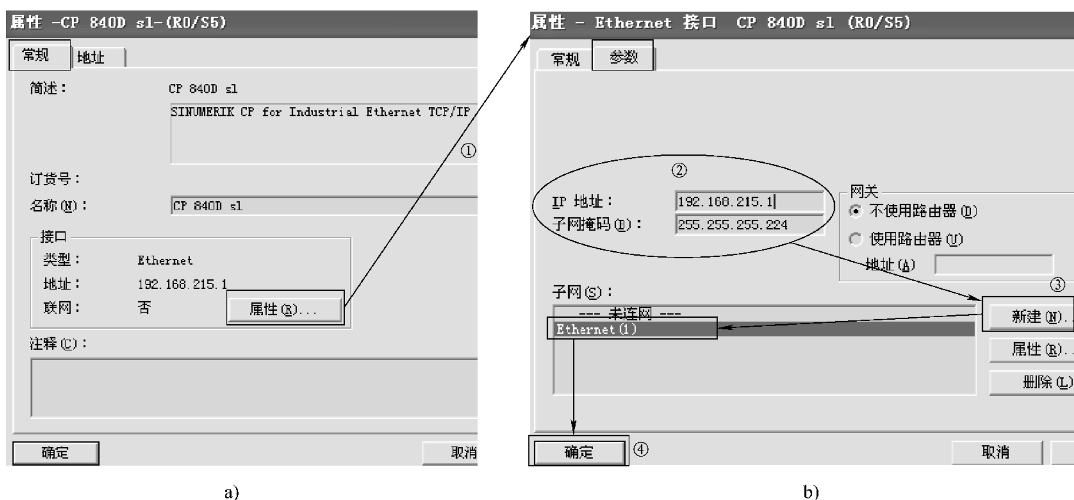


图 6-83　在 Step7 V5. 5 的 HW Config 窗口内插入 SINUMERIK 840Dsl 系统的 NCU 硬件

③ 设置 CP840Dsl 的 IP 地址：SINUMERIK 840Dsl 系统的 NCU 模块与计算机进行以太网通信，需要设置“CP840Dsl”，否则以太网通信将无法建立。在 NCU720. 1 的硬件组态窗口区内，双击中央机架 Rack0 上槽号为 5 的 CP840Dsl（见图 6-83），弹出图 6-84a 所示的 CP840Dsl 属性设置画面。单击［属性］按键后，显示图 6-84b 所示的以太网接口设定画面。在此画面内必须设定 X127 接口的 IP 地址与子网掩码分别为 192. 168. 215. 1 和 255. 255. 255. 224（注：X120 接口时分别为 192. 168. 214. 1 和 255. 255. 255. 0），然后单击［新建］按键以建立一个新的以太网络 Ethernet（1），单击［确定］键完成 CP840Dsl 通信地址的设定。

④ NX10/NX15 模块的配置：与中央机架 Rack0 连接的 Profibus3（即 DP 主站系统 3）是 NC 系统与 SINAMICS 驱动系统通信的总线，所连驱动系统的站点地址为 3。当系统的控制轴数较多时，需使用 NX10 模块（最多控制 3 轴）或 NX15 模块（最多控制 6 轴）来增强 SINUMERIK 840Dsl 系统的驱动控制性能，此时就需要在 Profibus3 上配置 NX10 或 NX15 的硬件及其信息。NX 模块硬件配置的操作步骤可参见第 1. 8. 2 节的相关内容。



a)　　　　　　　　　　b)

图 6-84　设置 CP840Dsl 的 IP 地址（Step7 V5.5）

a）CP840Dsl 的属性设置画面　b）以太网接口设定画面

⑤ 分布式 I/O 设备 ET200 等硬件的配置（见图 6-85）：根据数控机床的实际硬件配置，依次添加 Profibus 接口模块（HW Config 中的地址要与硬件上的拨码开关地址相同）及数字输入/输出和模拟输入/输出模块，或者其他带有 Profibus 接口的功能部件。如将目录 PROFIBUS DP→ET200S 内的接口模块 IM151－1HF（6ES7 151－1BA00－0AB0）插入总线 Profibus1（即 DP 主站系统 1）上，以配置 ET200S 电子模块；将目录 SIMATIC 300→RACK－300 内的标准导轨 Rail 用鼠标拖至硬件组态窗口区内，以增加 1 个扩展机架 Rack1（最多 3 个）；将目录 SIMATIC 300→IM－300内的扩展机架接口模块 IM361（6ES7 361－3CA01－0AA0）插入扩展机架 Rack1 的插槽 3 中，以实现扩展机架 Rack1 与中央机架 Rack0 间的通信（机架间的连线自动生成）；将目录 SIMATIC 300→SM－300→DI－300 内的数字量输入模块 DI32x24V（6ES7 321－1BL00－0AA0）与 DO－300 内的数字量输出模块 DO8x24V/2A（6ES7 322－1BF01－0AA0）分别插入扩展机架 Rack1 的插槽 4～11 中，以实现外部现场设备与 PLC－CPU 间开关量输入、输出信号的传递。

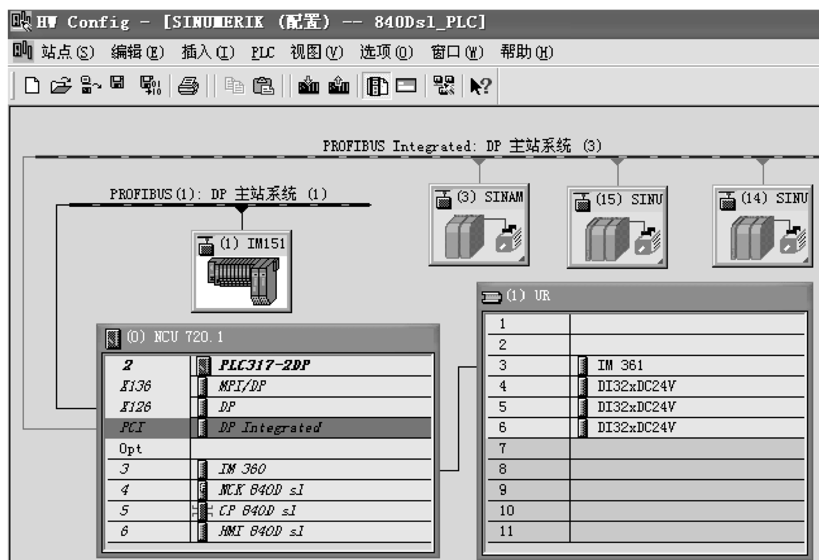


图 6-85　HW Config 窗口内插入 SINUMERIK 840Dsl 系统的 ET200 等硬件

⑥ 编译并保存：组态结束后，在 HW Config 窗口内，单击工具条上的按钮（编译并保存）或执行菜单命令“站点→编译并保存”。编译成功后，在 SIMATIC 管理器右边显示块的窗口中，可以看到编译生成的保存硬件组态信息与网络组态信息 CP840Dsl 的图标，如图 6-86 所示。

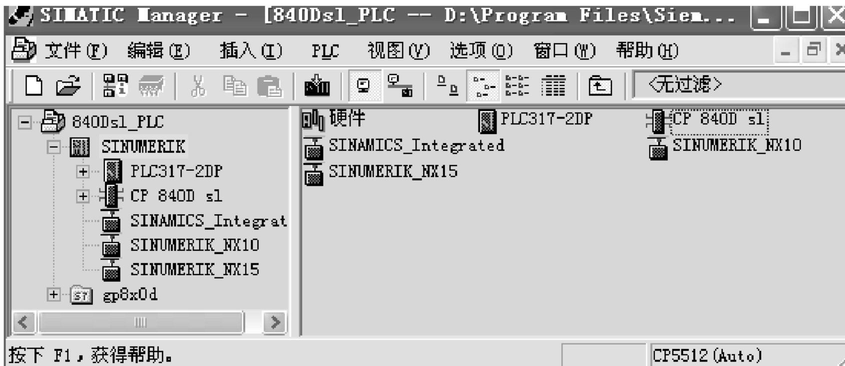


图 6-86 硬件组态编译并保存后在 SIMATIC 管理器内的显示

7）根据机床的动作要求与 SINUMERIK 840Dsl 系统的 PLC 程序结构（参见图 1－79），完成 PLC 程序的编写并保存。例如，在启动组织块 OB100 中，通过默认调用 PLC 基本程序库内的功能块 FB1，对机床控制面板定义（相应参数见表 6-32）；在循环处理组织块 OB1 的开始部分，通过调用 FC2 使 NCK 与 PLC 进行交互通信；在 OB1 中，通过调用 FC19、FC25、FC24，即分别调用标准铣床面板、标准车床面板或窄面板（MCP310），以使 MCP 被 PLC 启动并可进行相应操作；在 OB1 中，通过调用 FC10 即调用报警/信息处理程序，以使 PLC 报警送至 NCK 后由 NC 采取措施并在 MMC 上显示报警文本；在 OB1 中，通过调用 FC××即调用用户功能程序，实现对液压系统、润滑系统、气动系统、冷却装置、排屑装置及自动换刀装置的逻辑控制，当然功能逻辑块 FC××（一般××大于 40，如 FC41 等）需要在 SIMATIC 管理器内预先生成（选中左边窗口中的块图标，鼠标右键单击右边窗口后执行快捷菜单命令“插入新对象→功能”），并将其打开后编制 LAD 梯形图或 STL 语句表程序。

表 6-32 SINUMERIK 840Dsl 系统的 MCP 在 OB100 内的参数设定

OB100 中 FB1 的参数	Profibus 接口 MCP 的设定	PN 接口 MCP 的设定
MCPNum	所连接 Profibus 接口或 PN 接口 MCP 的实际数量	
MCP1IN	MCP 的输入起始地址，无特殊情况设定为 P#I0.0	
MCP1OUT	MCP 的输出起始地址，无特殊情况设定为 P#Q0.0	
MCP1StatSend	MCP 发送状态双字的目的地址，如 P#Q8.0	
MCP1StatREc	MCP 接收状态双字的源地址，如 P#Q12.0	
MCP1BusAdr	6	192
MCPBusType	B#16#33	B#16#55

8）将已编译好的硬件组态信息与 PLC 程序采取如下两种方法下载至 SINUMERIK 840Dsl 系统中：

① 在离线模式的 SIMATIC 管理器窗口中下载：第一是在 SIMATIC 管理器右边的窗口内选择单个块或通过［Ctrl］键、［Shift］键与鼠标的配合选择多个块，执行菜单命令“PLC→下载”（或工具条按钮），将被选择的块下载至 SINUMERIK 840Dsl 系统中。第二是在 SIMATIC 管理器

左边的窗口内鼠标左键选中“块”文件夹，用菜单命令或工具条按钮将所有的块与系统数据下载至SINUMERIK 840Dsl系统中。第三是在SIMATIC管理器左边的窗口内鼠标左键选中站对象SINUMERIK后，单击工具条按钮，将包括硬件组态信息、网络组态信息、逻辑块和数据块在内的整个站下载至SINUMERIK 840Dsl系统中。

② 在离线模式的其他窗口下载：在块编程窗口下执行菜单命令“PLC→下载”（或工具条按钮），或在硬件与网络组态窗口（如图6-85所示的HW Config窗口）下执行菜单命令“PLC→下载”（或工具条按钮），均可将当前正在编辑的对象下载至SINUMERIK 840Dsl系统中。

6.4　S7－200/300 PLC在SINUMERIK系统中的维护

在SINUMERIK系统中，虽然内置型S7－200/300 PLC的可靠性比较高，但周围恶劣的环境（电控柜内高温或低温与积尘严重）、供电电源的电压波动（正常范围为供电电压的85%～110%）及输入/输出模块存在故障等因素，仍会造成PLC不能正常工作，进而影响数控机床的运转，有时还会在系统的屏幕上显示报警。此时，既可结合机床的电气原理图，对SINUMERIK系统中的PLC信号状态进行查看；也可进入在线PLC程序画面（前提条件为SINUMERIK系统具有此功能）观察逻辑信号的运行情况；还可通过外设PG/PC上的编程工具PLC802或标准工具Step7与SINUMERIK系统进行通信连接，并将PLC程序上装至PG/PC后在线监控PLC的运行状态，或在离线模式下对上装后的PLC程序的输入/输出点进行修改，再下载至SINUMERIK系统中。

6.4.1　SINUMERIK系统中PLC信号状态的查看

1. SINUMERIK 802S/C base line系统

通过面板上的［区域转换］按键和［诊断］软键进入诊断操作区后，依次单击［调试］软键与［PLC状态］软键，便可进入图6-87所示的PLC状态显示画面。在此画面中，可同时显示过程映像输入端、过程映像输出端、位存储器、计时器、计数器与数据变量存储器的瞬时状态值，最多可查看6个操作地址。操作/维修人员可通过［修改］软键中断数值的循环更新并修改操作地址，可通过［中断］软键使数值的循环更新继续并停止数值向PLC的传送，可通过［接收］软键使数值的循环更新继续并将输入的数值接收到PLC中，可通过［删除］软键删除画面内的6个操作地址。每按［操作地址＋］或［操作地址－］软键1次，操作地址分别增加1与减少1。

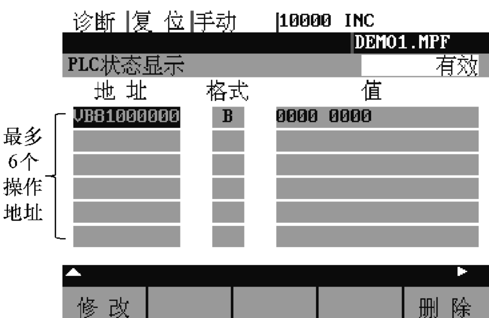


图6-87　SINUMERIK 802S/C base line系统的PLC状态显示画面

注：格式栏中，B为二进制，H为十六进制，D为十进制。

2. SINUMERIK 802D系统

1）经PLC状态显示画面查看信号状态：同时按下PCU面板上的［ALT］键和［N］键，或同时按［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入图5-54a所示的初始画面（此处为英文状态）。依次单击初始画面的［PLC］软键与［PLC status］软键，便可进入图6-88所示的PLC状态显示画面。在此画面中，可以按字节（B）、字（W）或双字（D）的形式来观察输入端、输出端、位存储器、计时器、计数器与数据变量存储器的瞬时状态值，“Operand”栏为被观

察地址的输入项，最多可同时查看 16 个操作地址。操作/维修人员可通过［Operand +］软键或［Operand -］软键分别对当前的操作地址加 1 或减 1，以观察与其相邻信号的状态。按下［Delete］软键，所有查看的操作地址被删除。按下［Change］软键，可中断数值的循环更新并修改操作地址。

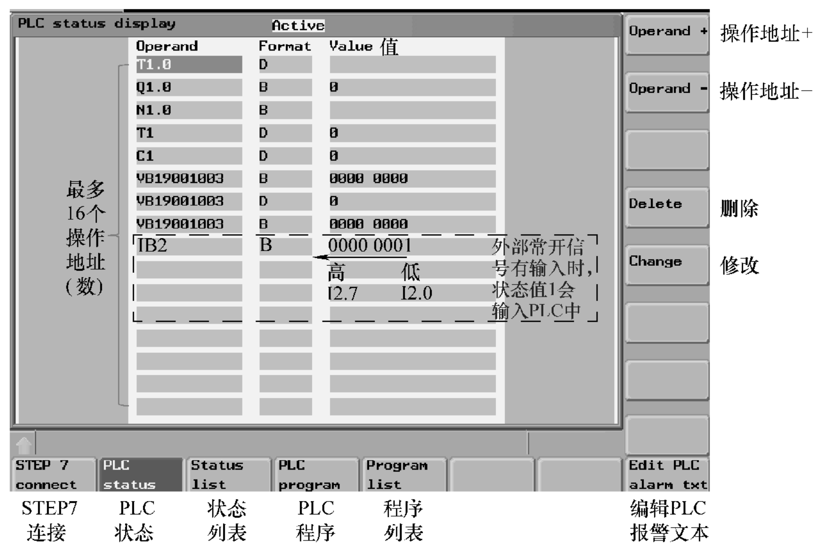


图 6-88　SINUMERIK 802D 系统的 PLC 状态显示画面

2）经状态列表画面查看信号状态：在 PLC 状态显示画面中，单击［Program list］软键，便可切换至图 6-89 所示的状态列表画面。在此画面内，左侧显示（默认设定）输入端的信号表，中间显示（默认设定）位存储器的信号表，右侧显示（默认设定）输出端的信号表。通过［Edit pad］软键可将显示切换至其他区域（如数据变量存储器）并设定新的起始地址，通过［Change］软键可修改被选择变量的值。

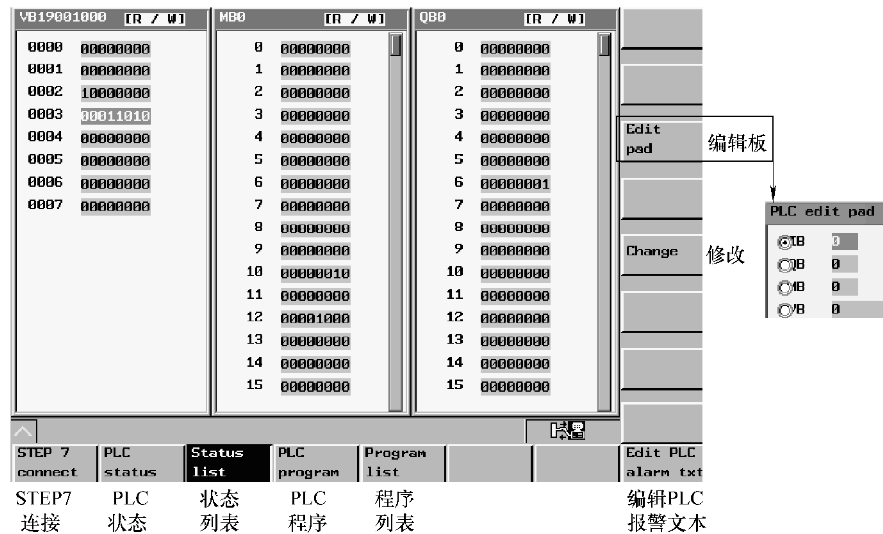


图 6-89　SINUMERIK 802D 系统的状态列表画面

3. SINUMERIK 802D solution line 系统

1）通过 PLC 状态显示画面或状态列表画面查看信号状态的操作及画面显示内容，与 SINUMERIK 802D 系统相同。

2）经在线 PLC 程序画面查看信号状态：同时按下 PCU 面板上［SHIFT］切换键与［SYSTEM/ALARM］键，进入 SYSTEM 操作区基本画面。依次单击画面内的［PLC］软键和［PLC program］软键，便可进入图 6-90 所示在线 PLC 程序画面，将保存在永久存储器（数据备份区）内的 PLC 项目打开并对 PLC 扫描周期结束时的信号逻辑状态进行查看。它可以非常直观、方便地反映出信号的逻辑过程，进而帮助维修人员快速查找机床报警或不动作的故障原因以及辅助判断被维修对象/元件的工作状态正常与否（如外部常开信号有输入时，在线画面内该信号的常开触点接通呈蓝色显示，其常闭触点断开呈浅色显示）。

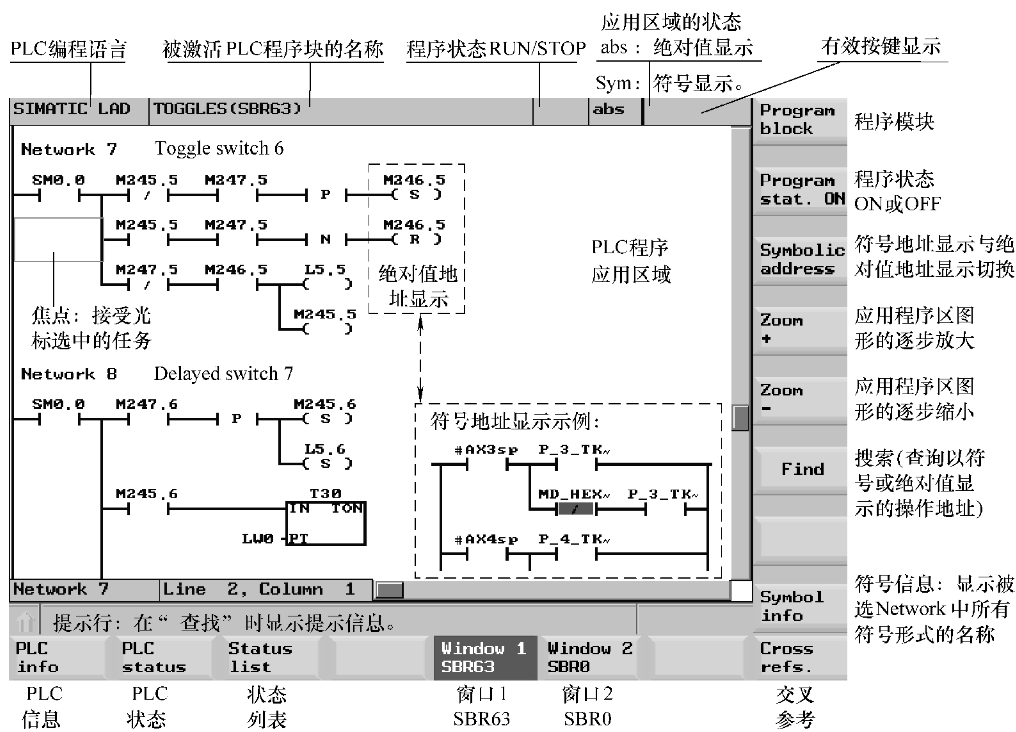


图 6-90　SINUMERIK 802Dsl 系统的在线 PLC 程序画面

在线 PLC 程序画面内水平软键的操作及对应的内容如下：

① 水平软键［PLC info］：在 PLC 信息画面内，显示 PLC 的运行状态、PLC 项目的名称、PLC 系统版本、循环时间与 PLC 用户程序的执行时间。通过画面内的垂直软键［Reset machining time］可复位程序执行时间的数据。

② 水平软键［PLC status］：切换至 PLC 状态显示画面，以在 PLC 程序执行的同时监控与修改操作地址的值。

③ 水平软键［Status list］：切换至状态列表画面，以显示与修改输入端、输出端、位存储器或数据变量存储器的信号状态。

④ 水平软键［Window 1…］和［Window 2…］：显示被选择程序模块（它是 PLC 用户程序的组成部分）内所有的逻辑信息和图形信息，程序模块可在垂直软键［Program block］下的程序列表内进行选择并打开（见图 6-91），程序模块的名称随着使用软键进行输入（如 Window 1 SBR16）。

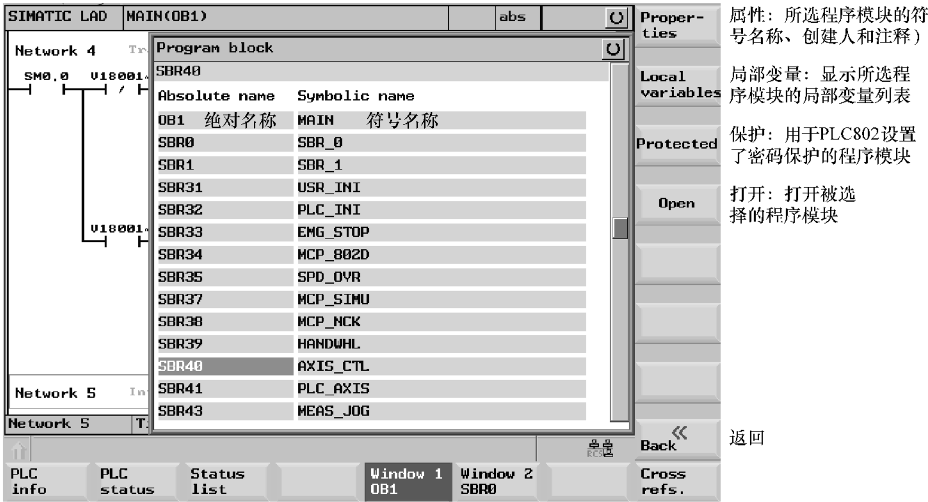


图 6-91　SINUMERIK 802Dsl 系统 PLC 程序模块选择画面

⑤ 水平软键［Cross refs.］：用来打开交叉参考列表，以显示 PLC 项目内所使用的全部操作地址（操作数），进而确定哪些 Network（网络）中使用了过程映像输入、过程映像输出或位存储器等。

4. SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统

1）经 PLC 状态显示画面查看信号状态：按下 OP 单元上的［Menu Select］区域转换键，依次单击画面内的［Diagnostics］软键与［PLC］软键（装载 HMI Embedded 软键的 810D/840D 系统）或［PLC status］软键（装载 HMI－Advanced 软件的 840D/840Dsl 系统），进入图 6-92 所示的 PLC 状态显示画面。在此画面中，既可以按位（如 I0.0、Q10.0）、字节（如 IB0、QB10）、字（如 IW0、QW10）或双字（如 ID0、QD10）的形式来观察输入端、输出端、位存储器、计时器、计数器与数据块寄存器的瞬时状态值，也可更改它们的状态。

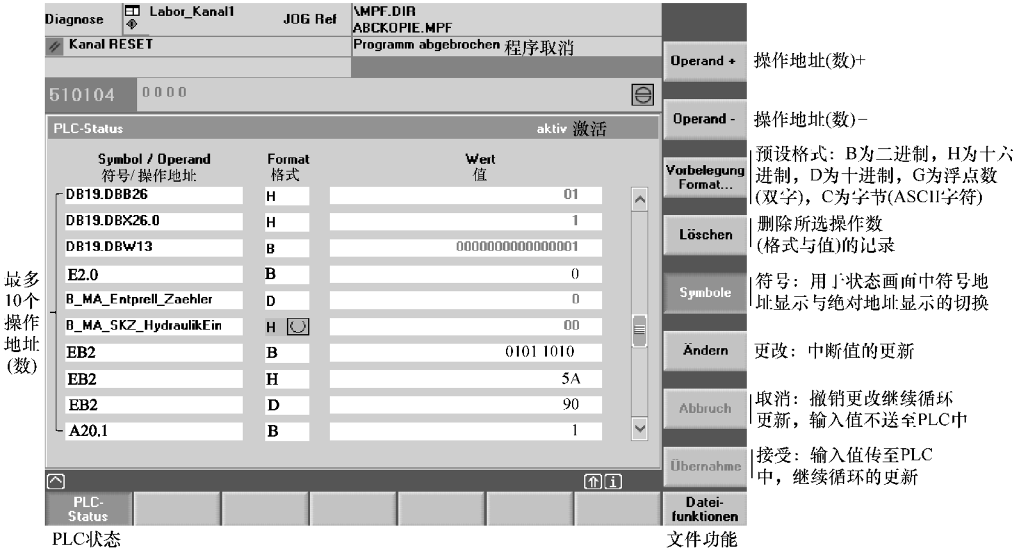


图 6-92　SINUMERIK 810D/840D/840Dsl 系统的 PLC 状态显示画面

注：E 与 A 为 PLC 中的德语助记符，分别对应于英文助记符 I（输入）与 Q（输出）。

2）经在线 PLC 程序画面查看信号状态：SINUMERIK 840D/840Dsl 系统不能直接在其 HMI 上打开 S7 -300 PLC 程序而对逻辑信号进行在线监控。只有在 PCU50/PCU70 中正确安装了 Step7 for PCU 软件，才能像 PG/PC 上的 Step7 一样对 PLC 程序进行在线监控与故障诊断。Step7 for PCU 软件的安装过程如下：

① 为安装有 Windows 操作系统的 PCU50/PCU70 接入鼠标，Windows NT 使用 PS/2 接口的鼠标，Windows XP 使用 USB 接口的鼠标。

② 启动 PCU 至 SINUMERIK 提示行时，按向下的方向键，选择隐藏的启动菜单选项，显示图 6-93a 所示的基本菜单。

③ 根据画面提示，输入 4 并按回车键，以启动 Windows（服务模式）。随即出现图 6-93b 所示的菜单，输入 1 并回车，使 PCU 自动重启后进入 Windows 服务模式。

④ 采用移动存储器（USB 设备）安装 Step7 软件及其相应的服务包。

⑤ 重启 PCU，重复第 2 步，第 3 步时输入 2 并回车。在随后出现的图 6-93c 所示菜单中，输入 1 并回车（或在 Windows 桌面上运行 Step7 authorizing 快捷图标），使 PCU 重启，完成对 Step7 的授权后进入 HMI 画面。

PLEASE SELECT

1、Install/update SINUMERIK system.
安装/升级SINUMERIK系统
2、SINUMERIK tools and options
SINUMERIK工具与选项
3、Dos shell
调用DOS的指令解释程序
4、Start Windows(Service Mode)
启动Windows(服务模式)
5、SINUMERIK system check
检查SINUMERIK系统
7、Backup/Restore
备份/修复
8、Start PC link
启动PC链接(通过CD-ROM安装软件)
9、Reboot(warmboot)
重新引导启动
Your choice (1,2,3,4,5,6,7,8,9)?

a)

PLEASE SELECT

1、standard windows(without starting SINUMERIK HMI)
标准Windows(不启动SINUMERIK HMI)
4、original SINUMERIK HMI environment.
下次引导启动时，启动初始SINUMERIK HMI 环境
5、current SINUMERIK HMI environment
下次引导启动时，启动当前SINUMERIK HMI环境。
9、Return to Main menu
返回基本菜单
Your choice (1,4,5,9)?

b)

PLEASE SELECT

1、Activate step7 for PCU
激活的Step7用于PCU
9、Return to Main Menu
返回基本菜单
Your choice (1,9)?

c)

图 6-93　Step7 for PCU 软件安装涉及的菜单
a）基本菜单　b）Windows（服务模式）的菜单　c）SINUMERIK 工具与选项的菜单

⑥ 在 HMI 画面的主菜单中选择最右侧扩展键［ > ］（又称 ETC 键），扩展菜单左起第 4 个水平软键为［STEP7］，单击此键即可进入 Step7 项目管理器（即 SIMATIC Manager）。

⑦ 安装过程中，所要求输入的口令应在保护等级 2 以上（SINUMERIK 系统等级权限的分类见表 5-2）。

6.4.2　通过编程工具 PLC802 修改 PLC 程序

在 SINUMERIK 802D/802Dsl 系统与机床之间，数字量信号的输入、输出均是通过基于 Profi-

bus－DP 总线的 PP72/48 模块实现的。其中 802D 与 802Dsl 系统可配置 PP72/48 模块的最大数量分别为 2 块和 3 块，每块 PP72/48 模块上有 3 个独立的 50 芯插槽 X111、X222 和 X333，每个插槽内有 24 位数字量输入（DC24V/0.25A）和 16 位数字量输出（DC24V/0.25A）。

虽然 PP72/48 模块可在 0～50℃的环境中运行，但仍会出现输入/输出点因过电压或过电流而烧毁、恶劣工作环境的腐蚀或锈蚀而不能使用、人为误接线或野蛮拔插而损坏的故障，进而导致数字量信号无法传输并使数控机床不能正常运转。此时，除直接更换损坏的 PP72/48 模块外，若 PP72/48 模块上有多余未使用的输入/输出点时，则可通过编程工具 PLC802 修改 PLC 程序来快速恢复机床运转与有效降低维修成本。对于 PLC 程序修改前上装至外设 PG/PC 与修改后下载至 SINUMERIK 系统的操作过程，请读者详见第 6.3.2 节“通过编程工具 PLC802 上装/下载 PLC 程序”。在此，重点讲解如何使用 PLC802 修改输入点和输出点。

1. 用 PLC802 修改输入点

1）在编程工具 PLC802 的操作主画面（见图 6-54）中，通过菜单命令“文件→打开”或快捷键“Ctrl＋O”打开上装后的 S7－200 PLC 程序。单击标准工具条上的编译图标，对 PLC 程序进行编译，否则不能显示交叉引用。

2）单击左侧游览条中的［交叉引用］或执行菜单命令“检视→交叉引用”，进入图 6-94 所示的交叉引用窗口。在此窗口的列表中，可清晰地显示出程序内所用的全部操作地（元素）及其位于哪个程序块、第几条网络、是常开触点信号还是常闭触点信号或者为线圈，进而找出 PP72/48 模块上空置未使用的输入点以及硬件上已损坏输入点所在的全部程序块与相应网络位置。如图 6-94 所示，I1.2、I1.3 与 I1.4 这三个点属于空置未使用的点，可以用于替换硬件上已损坏的输入点；硬件上已损坏的输入点 I0.4 位于程序块 COOLING 的网络 2 中。

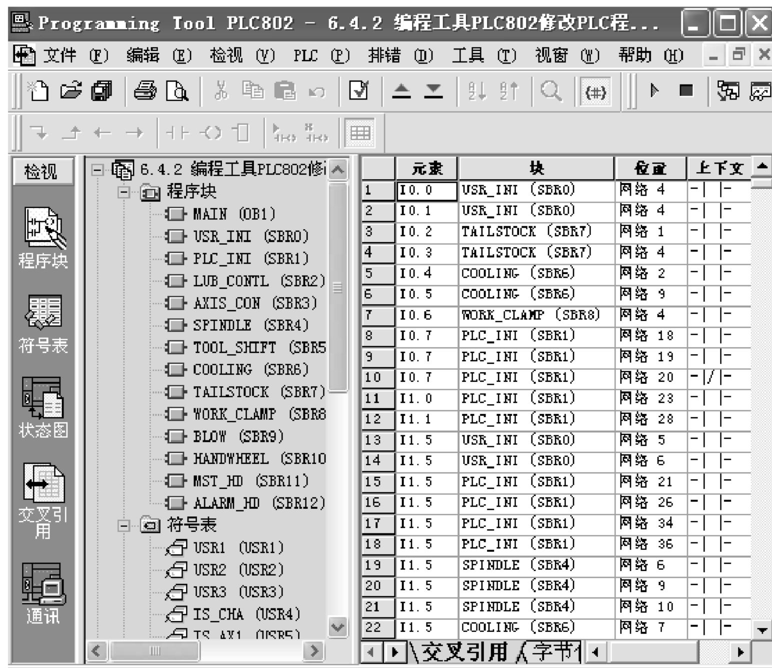


图 6-94 交叉引用窗口

3）在指令树内，通过鼠标双击打开待替换输入点I0.4所在的程序块COOLING并找到网络2。光标点中常开触点I0.4与符号信息表之间的空白位置后，单击LAD指令工具条内的接点“⊣⊢”指令，在当前位置插入接点并选择与I0.4同形式的常开触点。光标点中刚刚插入的常开接点“⊣⊢”后，单击LAD指令工具条内的线上“⌋”指令，使插入的常开接点并联于I0.4的下方。光标单击刚刚插入常开接点上方的“??.?”后，输入I1.2（见图6-95）。为了便于日后更换新模块时恢复原PLC程序以及使其他维修人员自更改的PLC程序中读出“机床曾发生过输入点损坏而被替换”的信息，一般不删除已损坏的输入点，而是在其下方并联一个输入点进行替换。

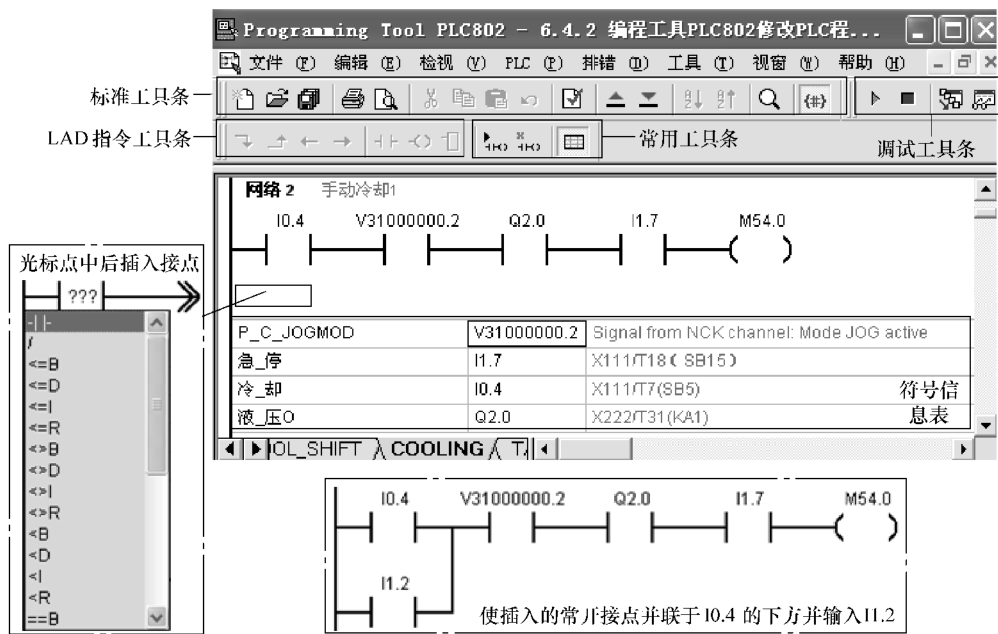


图6-95　用空置未使用的输入点替换已损坏输入点的操作

4）单击左侧游览条中的［符号表］或执行菜单命令“检视→符号表”，进入符号表窗口（见图6-96），在USR1、USR2或USR3中找到与用于替换的输入点的上下衔接位置（通常USR1、

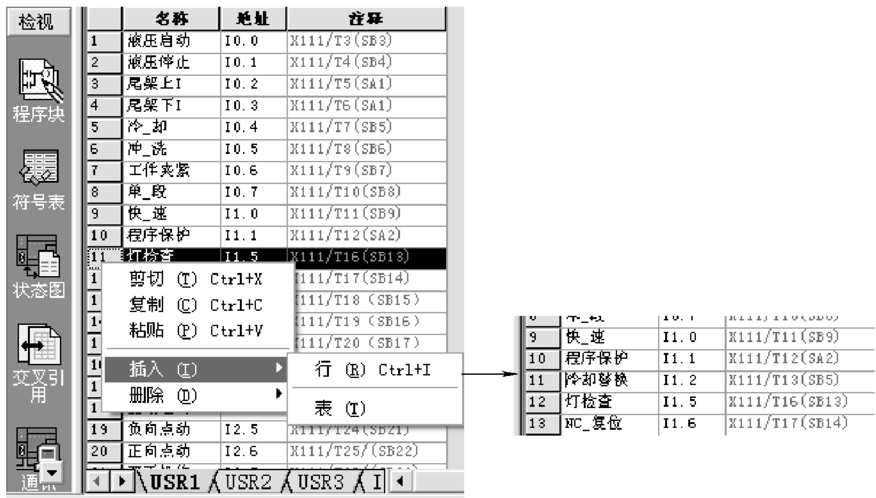


图6-96　在符号表中对起替换作用的输入点给定符号名

USR2 与 USR3 分别对应于 PP72/48 模块上插槽 X111、X222、X333 的输入、输出点，USRn 为默认名，可对其重命名)，如 I1.2 位于 USR1 的 I1.1 与 I1.5 之间。光标点中下衔接位置 I1.5 后，单击鼠标右键或快捷键“Ctrl + I”，在 I1.1 与 I1.5 之间插入一行，对应输入名称、地址和注释分别为冷却替换、I1.2 与 X111/T13（I0.4）。如此，在图 6-95 所示的符号信息表中就会出现一行关于 I1.2 的符号信息。

5）对更改后的 PLC 程序进行编译并保存，然后下载至 SINUMERIK 系统中。同时在 PP72/48 模块所连接的端子板转换器上，将已损坏输入点 I0.4 的端子接线移至 I1.2。

2. 用 PLC802 修改输出点

1）在交叉引用窗口的列表中，找到硬件上已损坏的输出点 Q4.2（见图 6-97a），得知：Q4.2 不仅位于程序块 BLOW 的网络 1 中，形式为线圈与常开触点；还位于程序块 MST_ HD 的网络 1 中，形式为常开触点与常闭触点。然后，找出 PP72/48 模块上空置未使用的输出点，如图 6-97b中的 Q5.2、Q5.3 或 Q5.4。

	元素	块	位置	上下文
434	Q4.0	LUB_CONTL (SBR2)	网络 4	-( )
435	Q4.2	BLOW (SBR9)	网络 1	-( )
436	Q4.2	BLOW (SBR9)	网络 1	-| |-
437	Q4.2	MST_HD (SBR11)	网络 1	-|/|-
438	Q4.2	MST_HD (SBR11)	网络 1	-| |-
439	Q4.5	COOLING (SBR6)	网络 13	-( )
440	Q4.5	COOLING (SBR6)	网络 14	-| |-

交叉引用 字节使用 位使用

a)

446	Q5.0	ALARM_HD (SBR12)	网络 47	-( )
447	Q5.1	ALARM_HD (SBR12)	网络 46	-( )
448	Q5.1	ALARM_HD (SBR12)	网络 47	-|/|-
449	Q5.5	USR_INI (SBR0)	网络 12	-( )
450	Q5.5	USR_INI (SBR0)	网络 13	-| |-
451	Q5.6	USR_INI (SBR0)	网络 13	-( )
452	Q5.6	USR_INI (SBR0)	网络 13	-| |-
453	Q5.6	USR_INI (SBR0)	网络 14	-| |-
454	Q5.6	USR_INI (SBR0)	网络 15	-| |-

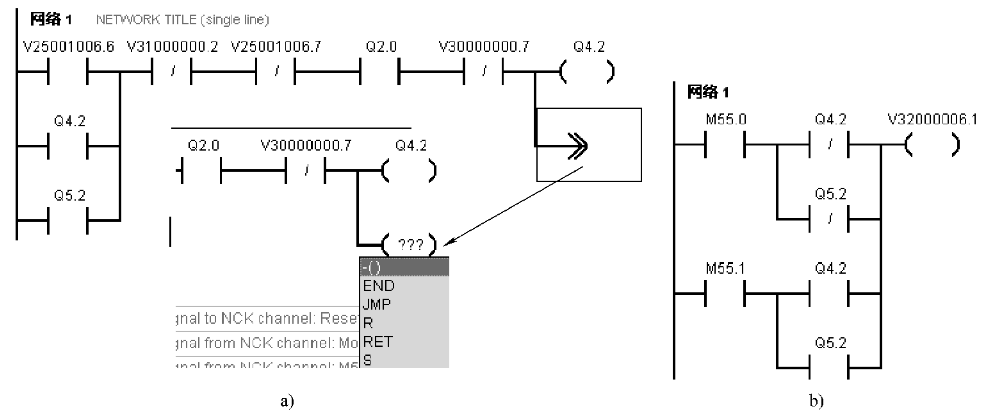
b)

图 6-97 用 PLC802 修改输出点 Q 时交叉引用窗口的使用

a）损坏输出点 Q4.2 b）空置未使用的输出点

2）先打开待替换输出点 Q4.2 所在的程序块 BLOW 并找到网络 1。光标点中常闭触点 V30000000.7 后，单击 LAD 指令工具条内的线下“⏋”指令，在当前位置插入竖直向下。光标选中刚刚出现的“→>”后，单击 LAD 指令工具条内的线圈“-( )”指令，在当前位置插入线圈。单击刚刚插入线圈上方的“??.?”后，输入 Q5.2，如图 6-98 所示。

3）对于程序块 BLOW 与 MST_ HD 内 Q4.2 常开/常闭触点的替换以及在符号表中对起替换作用的输出点 Q5.2 给定符号名（名称为输出点替换，注释为 X333/T41_ Q4.2)，其操作方法与“用 PLC802 修改输入点 I”的完全相同。



a) b)

图 6-98 损坏的输出点 Q4.2 经 PLC802 替换为 Q5.2

a）程序块 BLOW 内 Q4.2 的替换 b）程序块 MST_ HD 内 Q4.2 的替换

4）对更改后的PLC程序进行编译并保存，然后下载至SINUMERIK系统中。同时在PP72/48模块所连接的端子板转换器上，将已损坏输出点Q4.2的端子接线移至Q5.2。

6.4.3 通过标准工具Step7修改PLC程序

本节将以配置了SINUMERIK 810D系统的MK1350×3000型数控外圆磨床为例，介绍S7－300 PLC程序的修改过程。对于PLC程序修改前上装至外设PG/PC与修改后下载至SINUMERIK系统的操作过程，请读者详见第6.3.4节“利用标准工具Step7上装/下载PLC程序”。该数控磨床上处于中央机架Rack0位置的CCU3模块（CPU 315-2DP）经其X111接口和接口模块IM360连接了一组扩展机架Rack1，以用于数字量信号的输入与输出。Rack1中自左向右依次为1块IM361（R）、2块DI16xDC24V、2块DI32xDC24V、1块DI16xDC24V、2块DO16xDC24V/0.5A及1块DO32xDC24V/0.5A，分别占用插槽号3～11，相应输入地址I与输出地址Q的分布范围如图6-99所示。



图6-99 MK1350×3000型数控外圆磨床在SIMATIC 300站点中的硬件组态

1. *启动交叉参考表*

在标准工具Step7的SIMATIC管理器内，通过菜单命令“文件→打开”或快捷键“Ctrl＋O”打开上装后的S7－300 PLC程序。鼠标选中SIMATIC管理器左边的Blocks文件夹，显示类似图6-81所示的画面。然后执行菜单命令“选项→参考数据→生成”。在生成参考数据之前，计算机检查是否已有参考数据。若有参考数据但不是当前的参考数据时，可选择更新或重新生成参考数据。随后执行菜单命令“选项→参考数据→显示”，在出现的参考数据显示的自定义窗口内，单选框选中“交叉参考”项后，出现图6-100所示的交叉参考表。

参考 - [S7 Program(1) (交叉参考) -- MK1350×3000\SIMATIC 3...

参考数据(R) 编辑(E) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

已经过滤

地址(符号)	块(符号)	类型	语言	位置				
Q 57.2 (对刀架进退阀)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	25	/=
Q 57.3 (摇臂减速阀)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	21	/=
Q 57.4 (对刀气阀)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	34	/=
Q 57.5 (尾架进阀)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	5	/=
Q 57.6 (尾架退阀)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	11	/=
Q 57.7 (尾架高低压)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	14	/=
Q 60.0 (对刀或测量)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	46	/=
Q 60.1 (自动或调整状态)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	49	/=
Q 60.2 (请求测量)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	52	/=
Q 60.3 (对刀收缩)	FC59	W	LAD	NW	3	/=		
Q 60.4 (头架反转指示)	FC59	W	LAD	NW	1	/=		
Q 60.5	FC50	W	STL	NW	9	Sta	11	/=
Q 60.6	FC50	W	STL	NW	9	Sta	14	/=
Q 60.7	FC50	W	STL	NW	9	Sta	8	/=
Q 61.0 (动平衡使能)	FC50	W	STL	NW	13	Sta	17	/=
Q 61.1 (动平衡循环请求)	FC50	W	STL	NW	13	Sta	14	/=
Q 61.2 (动平衡自动)	FC50	W	STL	NW	13	Sta	20	/=
Q 62.0 (机床报警)	FC50	W	STL	NW	9	Sta	5	/=
Q 62.4	FC50	W	STL	NW	13	Sta	41	/=
Q 62.5 (冷却开停按钮指示灯)	FC50	W	STL	NW	12	Sta	40	/=

将显示过滤后的数据。

自左向右依次为：交叉参考表、赋值表、程序结构、未使用的符号、无符号地址

图 6-100 MK1350×3000 型数控外圆磨床的交叉参考表（Step7 V5.5）

2. 在交叉参考表内找出空置未使用的输入/输出地址

交叉参考表可给出 S7 用户程序使用的地址概况，显示 I（助记符的语言采用德语时为 E）、Q（助记符的语言采用德语时为 A）、M、T、C、FB、FC、SFB，SFC、PI、PQ 与 DB 的绝对地址、符号地址及其使用情况。它的每一行均由多个参数组成：地址（符号），即绝对地址与符号地址；块（符号），即该地址所在的块及块的符号；类型，即访问类型，R 为读，W 为写；语言，即生成块的编程语言，如 STL 或 LAD；位置，即地址所在的位置，如“NW 13 Sta 41 / =”表示 Q62.4 在某逻辑块的程序段 13 的语句 41 中执行线圈驱动指令。单击地址左边有加号的小方框（即⊞），可查看该地址被多次使用的情况。单击地址左边有减号的小方框（即⊟），可将同一地址有关的各行缩为一行。

通过图 6-100 所示的交叉参考表，得知：扩展机架 Rack1 上插槽号为 11 的数字量输出模块中 Q62.1、Q62.2 与 Q62.3 这三个地址点空置未被使用（备用），可以用来替换数字量输出模块上已损坏的输出地址点（如位于功能程序 FC50 内程序段 12 的语句 34 中的 Q57.4）。

3. 在 LAD/STL/FBD 编辑器内用备用地址点替换已损坏的地址点

在 SIMATIC 管理器内，鼠标双击损坏地址点所在的逻辑块后，进入 LAD/STL/FBD 编辑器（见图 6-101）。在编辑器内找到损坏地址点所在程序段的语句，如“ =" 对刀气阀"”，在其等号前面添加“//”使 S7 程序不再执行含有 Q57.4（对刀气阀为绝对地址 Q57.4 的符号名）的此条语句。同时在此条语句的下一行插入语句“ = Q62.1”（即用 Q62.1 替换 Q57.4），S7 程序自动对语句的格式进行排列。单击 LAD/STL/FBD 编辑器画面内的［保存］按钮使修改的语句生效。不删除被更改的语句，既可方便日后更换新模块时恢复原 PLC 程序，也可使其他维修人员自更改的 PLC 程序中读出“机床曾发生过地址点损坏而被替换”的信息。

4. 在符号表内将符号名称分配给绝对地址

有时，为了更加方便 S7 程序的阅读及简化故障的排除，会先将 I/O 信号、位存储器、计数

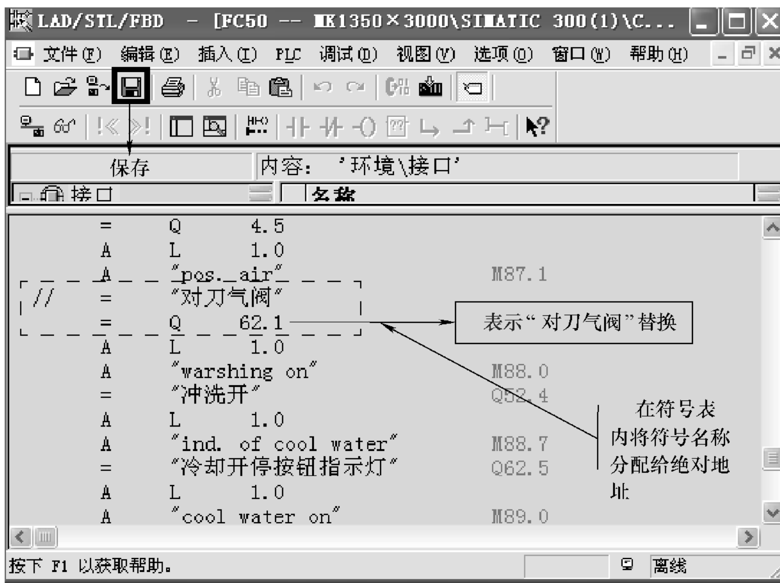


图 6-101　LAD/STL/FBD 编辑器内已损坏地址点的替换

器、定时器等地址的符号名称（地址符号）分配给对应的绝对地址（地址标识符与内存位置组成，如 Q4.0、I1.1 或 M2.0），然后通过此地址符号访问 S7 程序中的地址。

在 LAD/STL/FBD 编辑器画面内，执行菜单指令"选项→符号表"或使用快捷键"Ctrl + Alt + T"，进入图 6-102 所示的符号编辑器画面。在此画面的符号表末端插入起替换作用的备用地址点的符号信息，如符号为对刀气阀替换、地址为 Q 62.1、数据类型为 BOOL（与被替换地址点的相同）。然后单击［保存］按钮使符号名称分配生效，此时 LAD/STL/FBD 编辑器的绝对地址 Q62.1 会自动变为"对刀气阀替换"符号。



	状态	符号	地址		数据类型	注释
342		主轴修调C	I	0.6	BOOL	
343		主轴修调D	I	0.7	BOOL	
344		自动	I	0.0	BOOL	
345		自动或调整状态	Q	60.1	BOOL	
346		自动指示	Q	0.0	BOOL	
347		对刀气阀替换	Q	62.1	BOOL	
348						

图 6-102　在符号表内将符号地址分配给绝对地址

5. 将更改后的 S7 程序下载至 SINUMERIK 系统中，并将信号模块上已损坏地址点的接线移至备用地址点

附录

附录A　缩　略　符

缩写	英 文 含 义	中 文 含 义
AC	Alternating Current	交流电
ACCU	Accumulator	累加器
ADI	Analog Drive Interface	模拟驱动接口
AH	Axis Height	轴高
AIM	Active Interface Module	主动接口模块（用于S120驱动器）
ALM	Active Line Module	调节型/主动型电源模块（用于S120驱动器）
APR	Accsess Protection　Read	存取读保护（用于指定允许读的级别）
APW	Accsess Protection　Write	存取写保护（用于指定允许写的级别）
AS－i	Actuator/Sensor－interface	传感器/执行器接口，一种现场总线
ATC	Automatic Tool Changer	自动换刀装置
B	Byte	字节
BIOS	Basic Input Output System	基本输入/输出系统
BLM	Basic Line Modules	基本型电源模块（用于S120驱动器）
C	Counter	计数器（用于S7－200/300PLC）
CCU	Compact Control Unit	紧凑型控制单元
CF	Compact Flash	紧凑型闪存卡（经适配器用于PCMCIA插槽，经读卡器连接至USB等多种常用端口）
S7－CFC	Continuous Function Chart for Step 7	Step 7软件的连续功能图编程（语言）
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	互补金属氧化物半导体存储器
CNC	Computer Numerical Control	计算机数字控制
COM	Communication module	通信模块
CP	Communications Processor	通信处理器
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CTS	Clear to send	RTS/CTS通信协议中的允许发送信号
DB	Data Block	数据块

（续）

缩写	英文含义	中文含义
DC	Direct Current	直流电
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	动态主机配置协议
DIP	Dual In – Line Package	双列直插式封装
DMC	DRIVE – CLiQ Module Cabinet（Hub）	机柜安装式 DRIVE – CLiQ 模块（集线器）
DP	Decentralized Peripherals	分布式外围设备
DPR	Dual Port RAM	双端口存储器
DRAM	Dynamic RAM：Dynamic memory（volatile）	动态随机存取存储器
DRIVE – CLiQ	Drive Component Link with IQ	带 IQ 的驱动组件连接
DSC	Dynamic Servo Control	动态伺服控制
DSR	Data set ready	运行就绪状态信号，即数据组准备好
DTR	Data terminal ready	数据终端准备好
EFP	Single I/O Module	单 I/O 模块（用于 SINUMERIK 系统）
EIA	Electronic Industrial Association	（美国）电子工业协会
EnDat	Encoder – Data – Interface	编码器接口
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory	可擦除和编程的只读存储器
ESR	Extended stop and retract	继续停和回退
FB	Function block	功能块，有专用存储区（背景数据块）的子程序
FC	Function Call：Function block in PLC	功能，没有专用存储区的子程序
FDD	Feed Drive	进给驱动
FEPROM	Flash – EPROM	可读写的只读存储器
FM	Function Modules	功能模块
FM – NC	Function module – numerical control	功能模块式数字控制系统
GSD	General Station Description	常规站说明
GSM	Global System for Mobile Communications：Worldwide standard for wireless transmission of voice，data，fax and text messages（SMS）	全球移动通信系统，用于无线传输语言、数据、传真和文本信息（SMS）
HHU	Handheld Unit	手持单元
HMI	Human Machine Interface	人机接口
HT	Handheld Terminal	手持终端
IEC	International Electro Technical Commission	国际电工委员会
IM	Interface Module（SIMATIC S7 – 300）	接口模块（SIMATIC S7 – 300）
I/RF	Infeed/Regenerative feedback module	再生回馈电源模块
IT	Information Technology	信息技术
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	带绝缘控制电极的双极晶体管
IP□□	International Protection□□	电动机防护等级，第 1 个数字表示接触保护和外来物保护的等级，第 2 个数字表示防水保护等级，如 IP64

（续）

缩写	英 文 含 义	中 文 含 义
IPO	Interpolator	插补器
JOG	Jogging	手动调试模式
LCD	Liquid Crystal Display	液晶显示器
LED	Light Emitting Diode	发光二极管
LLI	Lower Layer Interface	底层接口（Profibus – FMS 的应用层）
MBP	Manchester Coding and Bus Powering	曼彻斯特码编码与总线供电
MCP	Machine Control Panel	机床控制面板
MCPA	Machine Control Panel Analog	模拟机床控制面板
MCR	Master Control Relay	主控继电器（S7 – 300 PLC 的程序控制指令）
MCS	Machine Coordinate System	机床坐标系
MDA	Manual Data Input，Automatic	手动数据输入，自动执行
MM	Motor Module	电动机模块（用于 S120 驱动器）
MMC	Man Machine Communication	人机通信（可进行操作、编程和模拟的面板）
MPI	Multiple Point Interface	多点接口
MPP483	Machine Pushbutton Panel – 483	机床按键面板 – 483
MSD	Main Spindle Drive	主轴驱动
NC	Numerical Control	数字控制
NCK	Numerical Control Kernel	带有程序段处理和运行范围等功能的数字内核
NCU	Numerical Control Unit	数字控制单元
NX	Numerical Extension	轴扩展模块
OB	Organization block	组织块，操作系统与用户程序的接口
OBT	Optical Bus Terminal	光纤总线终端
OEM	Original Equipment Manufacturer	原装设备制造商
OLM	Optical Link Module	光链路模块
OP	Operation Panel	操作面板
OPI	Operators Panel Interface	操作面板接口
OSI	Open System Interconnection	开放式系统互联网络
PC	Personal computer	个人计算机
PCI	Pedpherd Component Interconnect	周边元件扩展接口
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association	个人计算机内存卡国际协会
PCU	Personal Computer Unit	带操作界面的 NC 控制器
PG	Programming Device	编程器
PII	Process Image Input	过程映像输入表
PIN	Personel Identification Number	个人身份号码
PIQ	Process Image Output	过程映像输出表
PLC	Programmable Logic Controller	可编程序逻辑控制器（FANUC 系统为 PMC）

（续）

缩写	英文含义	中文含义
PM	Power Module	电源模块（用于 S120 驱动器）
PMC	Programmable Machine Tool Controller	FANUC 系统中的可编程序机床控制器
PN	ProfiNET	基于工业以太网的现场总线标准
PP031	Push - Button - Panel031	按键面板 031
PPU	Panel Processing Unit	基于面板的数控系统
Profibus	Process Field - bus	1986 年由德国制定的过程现场总线
PS	Power Supply（SIMATIC S7 - 300）	电源模块（SIMATIC S7 - 300）
QWERTY	keyboard assignment：American keyboard layout，the first six letters in the top row of letters，read from left to right	键盘布局：美式键盘布局，键盘上第一排字母从左到右的字母依次为 QWERTY
RAM	Random Access Memory：Program memory that can be read and written to	随机存储器，可读取和描述的程序存储器
RCS	Remote Control System	远程控制系统
Resolver	Resolver	旋转变压器
RLO	Result of logic operation	逻辑运算结果
ROM	Read Only Memory	只读存储器
RTS	Request to send	RTS/CTS 通信协议中的请求发送信号
RxD	Receive data	接收数据
S7 - SCL	Structured Control Language for Step 7	STEP7 软件的结构化控制编程（语言）
SD	Setting Data	设定数据
SFB	System Function Block	系统功能块（西门子提供的标准功能块）
SFC	System Function Call	系统功能调用（西门子提供的标准功能）
SLM	Smart Line Module	非调节型/智能型电源模块（用于 S120 驱动器）
SM	Signal Module（SIMATIC S7 - 300）	信号模块（SIMATIC S7 - 300）
SMC	Sensor Module Cabinet	机柜安装式编码器模块
SME	Sensor Module External	外部编码器模块
SMS	Short Messaging Service	短消息服务
SPS	Programmable Logic Controller（PLC）	可编程序逻辑控制器
S/R	Signals/Revolution	编码器的每转脉冲数
SRAM	Static RAM：Static memory（battery - backed）	静态随机存取存储器（缓存）
SSI	Serial Synchron Interface	串行同步接口
STN	Super Twisted Nematic（LCD）	超扭曲向列型（液晶显示器）
SW	Software	软件
T	Timer	定时器（用于 ST - 200/300 PLC）
TCU	Thin Client Unit	精简型客户端单元（通过操作面板进行通信）
TFT	Thin Film Transistor（flat screen technology）	薄膜晶体管

（续）

缩写	英 文 含 义	中 文 含 义
TM	Terminal Module	端子模块
TP	Touch Panel	触摸屏
TTL	Transistor - Transistor - Logic	晶体管 - 晶体管 - 逻辑
TxD	Transmitted data	传送数据
UDP	User Datagram Protocol	用户数据包协议
USB	Universal Serial Bus	连接计算机和附属设备的通用串行总线
VGA	Video Graphics Adapter	视频图像适配器
VP（M）	Voltage Protection（Module）	电压保护（模块）
WCS	Workpiece Coordinate System	工件坐标系

附录 B　SIMODRIVE 611U/UE 驱动系统报警代码及排除方法

代码	报 警 内 容	报 警 原 因	排 除 方 法
000	驱动器无错误	正常工作状态	—
001	驱动器没有操作系统	存储模块内没有驱动器操作系统	通过 SimoCom U 加载驱动器操作系统
			插装带有驱动器操作系统的存储模块
002	计时溢出	驱动处理器的时间计算不能充分满足选用功能规定的循环时间。仅限系统内部错误诊断	不使用以下非常费时的功能：可变通信功能（P1620）、跟踪功能、以 FFT 方式启动或分析步进响应、速度前馈控制（P0203）、最小/最大存储（P1650. 0）、DAC 输出（最多 1 个通频道）
			增加以下各项的循环时间：电流控制器循环（P1000）、速度控制器循环（P1001）、位置控制器循环（P1009）、嵌入循环（P1010）
003	NMI 预期监控	控制模块上的监控计时器已期满，其原因是由控制模块在时间基准方面的硬件错误所导致。仅限系统内部错误诊断	更换闭环控制模块
004	堆栈溢出	违反了内部处理器硬件堆栈的限制或数据存储在软件堆栈的限制，其原因可能是控制模块的硬件错误导致。仅限系统内部错误诊断	驱动模块断电后再通电
			更换闭环控制模块
005	非法操作程序编码或扫描；SWI，NMI（DSP）	处理器在程序存储器中发现非法命令。仅限系统内部错误诊断	更换闭环控制模块
006	校验和测试错误	对程序数据存储的校验和持续校准过程中，基准校验和实际校验被识别为不符，原因可能是控制模块的硬件错误导致。仅限系统内部错误诊断	更换闭环控制模块

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
007	初始化错误	存储模块加载操作系统时发生错误，原因是数据传输错误，FEPROM 存储元件故障。仅限系统内部错误诊断	执行复位或接通电源 反复几次仍有问题，更换存储模块；如果仍不成功，则控制模块有故障必须更换
020	NMI 循环失败	基础循环失败，可能因为 EMC 错误，硬件、控制模块错误	检查插件连接是否正常 进行干扰测量（屏蔽、接地检查） 更换控制模块
025 026 027	SSI 中断 SCI 中断 HOST 中断	一次非法的处理器中断发生，原因是一个 EMC 错误或控制模块的硬件错误	检查插件连接是否正常 更换控制模块
028	功率加载过程中的实际电流感应	在实际电流感应值增加或循环运行中产生脉冲抑制时，期望电流为零。驱动系统识别出没有电流通过，故障可能为硬件出现实际电流感应	检查控制模块是否正确插装 检查插件连接是否正常 更换控制模块或电源模块
029	不正确的测量电路测定	电动机测量系统有一路带电压输出的电动机编码器，该编码器需要一路带电压输入测量电路的测定，或一个作恰当测定的解析器；另一路测量电路的测定已被确定。仅限系统内部错误诊断	检查插件连接是否正常 进行干扰测量（屏蔽、接地检查） 控制模块和编码器须同种类型（正/余弦或旋转变压器） 更换控制模块
030	S7 通信错误	发现一个致命的通信错误或驱动软件不相容，原因为不正确的通信或控制模块的硬件错误。仅限系统内部错误诊断	进行干扰测量（屏蔽、接地检查） 更换控制模块
031	内部数据错误	内部通信错误、单元/块列表中的格式错误、驱动软件不相容，原因为控制模块的硬件错误。仅限系统内部错误诊断	重新加载驱动软件 更换控制模块
032	电流设置点滤波器数值错误	一个 >4 的非法电流设置点滤波器数值被输入（最大值 =4）	输入正确的电流设置点滤波器数值（P1200）
033	速度设置点滤波器数值错误	一个 >2 的非法速度设置点滤波器数值被输入（最大值 =2）	输入正确的速度设置点滤波器数值（P1500）
034	坐标轴计数功能失败	电源基板的坐标轴数量确定功能计算出非法数值	检查控制模块是否正确插入电源基板，或电源基板故障
035	存储用户数据时出现错误	将用户数据存入存储模块上的 FEPROM 时出现错误，原因为数据传输错误或 FEPROM 损坏。注：最后保存的用户数据在新数据备份成功之前仍可用。仅限系统内部错误诊断	重新进行数据备份 若几次备份不成功则更换存储模块；更换前由 SimoCom U 读出用户有用数据并加载到新存储器中

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
036	卸载操作系统时出现错误	加载一个新版操作系统时出错，原因为数据传输错误或 FEPROM 损坏。注：因先前用过的操作系统在下载时被删除，系统复位或接通电源后要求新操作系统卸载。仅限系统内部错误诊断	执行复位或接通电源 若几次卸载不成功则更换存储模块；更换前由 SimoCom U 读出用户有用数据并加载到新存储器中 控制模块故障须更换
037	初始化用户数据时出现错误	从存储模块加载用户数据时出错，原因为数据传输错误或 FEPROM 损坏。仅限系统内部错误诊断	执行复位或接通电源 若几次卸载不成功则更换存储模块；更换前由 SimoCom U 读出用户有用数据并加载到新存储器中 控制模块故障须更换
039	电源基板标识错误	0x100000：标识为多于一种基板类型 0x200000：标识为不可能的无基板类型 0x30xxxx：基板标识为 PM（P1106）的代码自此输入 xxxx 0x400000：不同的基板代码（P1106）被输入到此双轴模块	检查控制模块是否正确插入电源基板；执行复位或接通电源。说明：x 为 0 ~ 9 的数字
040	预期的自选模块不适用	预期自选模块的参数设置（P0875）在控制模块上不适用	比较预期的自选模块（P0875）与已插入的自选模块（P0872）的类型，检查/更换已插入的自选模块或用 P0875 = 0 取消自选模块
041	操作系统不支持自选模块	预期自选模块的参数设置（P0875）不适用于控制模块上的操作系统	SIMODRIVE 611U：升级操作系统；使用法定的自选模块；用 P0875 = 0 取消自选模块 SIMODRIVE 611UE：使用法定的自选模块；用 P0875 = 0 取消自选模块
042	内部软件错误	有内部软件错误。仅限系统内部错误诊断	按电源模块上的 R 按钮使其复位 在存储器中重新加载软件（执行软件升级） 更换存储模块或控制模块
045	预期的自选模块轴控参数不匹配	预期的自选模块类型在参数设置上存在一块双轴模块中两个轴的设置不同	在 P0875 中将预期的自选模块类型设为两轴相同或用 P0875 = 0 取消 *B* 轴
048	Profibus 硬件状态非法	Profibus 控制器的非法状态被确认	按电源模块上的 R 按钮使其复位，检查 Profibus 总线的连接，更换驱动控制模块
101	目标位置块 \ %U 超出正向软极限	程序块中设定的目标位置超出参数 P0316 设置的正向软极限范围	改变程序块中的目标位置 更改 P0316 以设置不同的正向软极限
102	目标位置块 \ %U 超出负向软极限	程序块中设定的目标位置超出参数 P0315 设置的负向软极限范围	改变程序块中的目标位置 更改 P0315 以设置不同的负向软极限
103	块号 \ %U：引导输出功能失效	执行 SET_ O 或 RESET_ O 命令时，一非法值被输入命令参数 P0086：64	P0086：64 输入数值 1、2 或 3

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
104	块\%U：跳向不存在的目的地	程序跳转至不存在的程序块	重新编程使程序跳转至存在的程序块
105	块\%U 指定非法模式	在 P0087：64 中有非法信息/值	检查并修正 P0087：64
106	块\%U：线性轴的 ABS_ POS 模式失效	编程 ABS_ POS 模式以定位线性轴（仅限于旋转轴）	更改 P0087：64 以切换正确模式
107	块\%U：线性轴的 ABS_ NEG 模式失效	编程 ABS_ NEG 模式以定位线性轴（仅限于旋转轴）	更改 P0087：64 以切换正确模式
108	块号\%U：重复两次使用	在程序存储器中有几个交叉块具有相同的块号，程序块号必须是唯一的	设置唯一的程序块号
109	块\%U 中不需要的外部块变化	交叉程序块不需要的外部块变化使外部块变化配置参数 P0110 = 0	清除 Profibus 控制信号 STW1．13 的边沿在输入终端响应处丢失的原因
110	选择块号\%U 不存在	一个程序块号被选，但在程序存储器中不存在或已被封掉	选择存在的程序块号
111	GOTO 命令在块号\%U 非法	GOTO 命令在程序块中可能没有写入	编程另外的命令
112	激活交叉任务和启动基准同时进行	因为“激活交叉任务”和“启动基准”输入信号，一个上升沿被同时识别。在 POWER - ON 或 POWER - ON RESET 上，如果两个输入信号都是“1”，则两个信号同时被发现	复位这两个输入信号，在故障明确之后重新启动所需的功能
113	激活交叉任务与启动参考同时进行	“激活交叉任务”与“启动参考”输入信号的上升沿被同时识别。在 POWER - ON 或 POWER - ON RESET 时，若两个输入信号均为 1，则这两个信号的上升沿将被同时发现	复位这两个输入信号，在故障明确之后重新启动所需的功能
114	程序块阶跃启动 END 在预期的块号\%U 中	在最高块号的交叉程序块中，程序块阶跃启动时不能有 END 命令	用程序块阶跃启动 END 编程交叉块
			为交叉程序块编程 GOTO 命令
			用较高的块号编程附加的交叉块，并在最后的块中编程程序块阶跃启动 END
115	往返范围初始极限到达	块中命令 ENDLOS _ NEG（-200000000MSR）使坐标轴移动至往返初始极限	确认故障；JOG 等方式向正方向驱动坐标轴
116	往返范围终点极限到达	块中命令 ENDLOS _ POS（200000000MSR）使坐标轴移动至往返终点极限	确认故障；JOG 等方式向负方向驱动坐标轴

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
117	目标定位块\%U超出往返范围起点	程序块设置的目标定位点处于绝对往返范围之外（-200000000MSR）	重新设置程序块中的目标定位点
118	目标定位块\%U超出往返范围终点	程序块设置的目标定位点处于绝对往返范围之外（200000000MSR）	重新设置程序块中的目标定位点
119	正向软极限激活	块中命令 ENDLOS_POS（200000000MSR）使坐标轴移动至正向软极限（P0316）	确认故障；JOG 等方式向负方向驱动坐标轴
120	负向软极限激活	块中命令 ENDLOS_NEG 使坐标轴移动至负向软极限	确认故障；JOG 等方式向正方向驱动坐标轴
121	JOG1 与 JOG2 同时执行	JOG1 与 JOG2 的输入信号同时执行	将两输入信号复位 确认故障并启动必要的输入信号
122	参数\%u：值超出极限范围	长度度量系统从英制转换为公制时，该参数值超出极限范围	设置参数值在规定范围内
123	所选长度度量系统与线性编码器不匹配	所选长度度量系统与线性编码器不匹配	改变长度度量系统的设置参数 P0100
124	回零与 JOG 同时启动	“开始回零”与“JOG1”“JOG2”的上升沿输入信号被同时识别	重新置位两路输入信号，同时在故障确认排除后重新启动必要的功能
125	基准凸轮下降沿未被识别	基准凸轮移动至往返极限时，基准凸轮 1/0 状态未被识别	检查基准凸轮输入信号并重复接近基准点
126	块\%u：旋转轴的 ABS_POS 无模转换不可能	ABS_POS 位控模式仅允许单个旋转轴的带模转换被激活（P0241=1）	为该类坐标轴采用有效的定位模式
127	块\%u：旋转轴的 ABS_NEG 无模转换不可能	ABS_NEG 位控模式仅允许单个旋转轴的带模转换被激活（P0241=1）	为该类坐标轴采用有效的定位模式
128	块\%u：目标定位超出模范围	程序目标定位（P0081：64）超出了模设定范围（P0242）	编程有效的目标定位
129	带模转换的旋转轴最大速度太高	编程最大速度（P0102）比正确的预测模偏移高太多，以至于在一个插入循环中 90% 的模范围（P0242）被传送（P1010）	改变参数 P0102 以减小最大速度
130	控制器或脉冲启动在运动中取消和退出	T48/63/64/663/65. x（x = A 或 B）、Profibus 启动信号或 SimoCom U 的 PC 启动在运动中被取消；其他导致控制器或脉冲启动取消的故障	设置启动信号并检查首次故障和退出的原因

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
131	随动误差太高	驱动转矩或加速能力过载	检查上述原因并排除，如降低驱动转矩，检修或更换定位测量系统，设定 P0231 至适当值，调整机械传动间隙或更换磨损严重的机械配件（如齿轮副、滚珠丝杠螺母副、导轨副等）
		定位测量系统故障	
		位控检测不正确（P0231）	
		机械装置故障	
		过度的往返速度或过度的定位设置	
132	负向软极限后驱动定位	JOG 模式下坐标轴移动至负向软极限（P0315）时，若软极限失灵或定位实际值低于 -200000000 MSR 极限，则产生故障	用 JOG1 或 JOG2 反向驱动坐标轴返回往返行程内
133	正向软极限后驱动定位	JOG 模式下坐标轴移动至正向软极限（P0316）时，若软极限失灵或定位实际值超过 200000000 MSR 极限，则产生故障	用 JOG1 或 JOG2 反向驱动坐标轴返回往返行程内
134	定位监控响应（P0320 设定的定位监控时间到后，驱动仍未到达 P0321 设定的定位窗口）	定位监控时间参数（P0320）太小	增大 P0320
		定位窗口参数（P0321）太小	增大 P0321
		位置环增益（P0200）过小	增大 P0200
		位置环增益 P0200 过大（不稳定/振荡）	适当减小 P0200
		机械阻碍	调整机械传动间隙或更换磨损严重的机械配件（如齿轮副、滚珠丝杠螺母副、导轨副等）
135	停滞监控响应［P0325 在停滞监控时间到后，驱动仍未离开停滞窗口（P0326）］	位置实际值转换（P0231）设置错误	修改 P0231
		停滞监控时间参数（P0325）太小	增大 P0325
		停滞窗口参数（P0326）太小	增大 P0326
		位置环增益（P0200）过小	增大 P0200
		位置环增益（P0200）过大（不稳定/振荡）	适当减小 P200
		机械过载	增加机械传动间隙、减小预紧力（如齿轮副、滚珠丝杠螺母副、导轨副等）
		电动机电缆断线或变压器损坏造成某相丢失	更换动力电缆或相关配件
136	转换因子、前馈速度控制、参数设置未体现	位置控制器中速度矢量与速度之间的转换因子不能显示	调整直线坐标下的主轴间隙 P0236 与齿轮箱速比 $\frac{P0238:\ 8}{P0237:\ 8}$
137	转换因子、位控输出、参数设置未体现	位置控制器中如下错误与速度设置间的转换因子不能显示：主轴间隙、齿轮箱速比和位置控制环增益	调整直线坐标下的主轴间隙 P0236、齿轮箱速比 $\frac{P0238:\ 8}{P0237:\ 8}$ 及位置控制环增益 P0200：8

（续）

代码	报 警 内 容	报 警 原 因	排 除 方 法
138	电动机与负载间的转换因子太高	电动机与负载间的转换因子大于 2^{24} 或小于 2^{-24}	检查并修正参数 P0236、P0237、P0238、P1005、P1024
139	模的范围与速比不匹配	多圈绝对编码器与负载间的比率选择必须使编码器量程为模范围的整数，即 $\frac{P1021 \times \frac{P0238:\ 8}{P0237:\ 8} \times 360}{P0242}$ 为整数	检查并修正 P1021、P0238：8、P0237：8 修改模的范围（P0242）
140	负向硬极限开关	在负向硬极限开关处，其输入信号的 1/0 边沿被识别	用 JOG1 或 JOG2 反向驱动坐标轴返回往返行程内并确认故障
141	正向硬极限开关	在正向硬极限开关处，其输入信号的 1/0 边沿被识别	用 JOG1 或 JOG2 反向驱动坐标轴返回往返行程内并确认故障
142	输入 I0. x 未被参数化等效零标记	键入一个等效零标记（P0174 = 2）的外部信号时，输入 I0. x（x = A 或 B）须被赋予“等效零标记”功能（Fct. No.：79）。若一个直接测量系统正在被应用，则输入 I0. B 须被赋予“等效零标记”功能	电动机测量系统：P0660 = 79 直接测量系统：P0672 = 79
145	定位终点停未实现	使用 FIXED ENDSTOP 命令的往复运动控制循环中，因定位停止点超出程序设定值而使得定位终点停不能实现	调整程序中的定位停止点
146	定位终点停时轴坐标超出监视窗	“定位终点停到达”状态，轴坐标已移出监视窗外	检查参数 P0116：8（定位终点停，监视窗） 检查机械环节
147	定位终点停的使能信号被撤销	T48/63/64/663/65. x（x = A 或 B），Profibus 启动信号或 SimoCom U 的 PC 启动在移动至定位终点停时被取消；其他导致控制器或脉冲启动取消的故障	设置启动信号并检查首次故障和退出的原因
150	外部位置基准值超出往复行程范围的上限	补充信息 = 0：极限超过 $\frac{P0401}{P0402}$ 识别范围，即 P0032 > 200000000MSR；补充信息 = 1：极限超过 $\frac{P0401}{P0402}$ 识别范围，即 $P0032 \times \frac{P0401}{P0402} > 200000000\text{MSR}$	将外部位置基准值重置到指定范围内，之后确认故障
151	外部位置基准值低于最小往复行程范围的下限	补充信息 = 0：极限低于 $\frac{P0401}{P0402}$ 识别范围，即 P0032 < − 200000000MSR。补充信息 = 1：极限超过 $\frac{P0401}{P0402}$ 识别范围，即 $P0032 \times \frac{P0401}{P0402} < -200000000\ \text{MSR}$	将外部位置基准值重置到指定范围内，之后确认故障

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
160	基准轨迹未到达	执行返回参考点后，坐标轴移动参数 P0170 设定的距离后未发现基准轨迹	检查基准轨迹信号与参数 P0170（到基准轨迹的最大距离）；若坐标轴没有基准轨迹，须设定 P0173 = 1
161	基准轨迹太短	在坐标轴移向基准轨迹但未到达轨迹的停滞点时，基准轨迹太短的错误被提示	设置 P0163（寻基准点的速度）为较低值
			增加 P0104（最大制动值）
			使用更长的基准轨迹
162	没有零基准脉冲	在脱开基准轨迹后，坐标轴移动参数 P0171 设定的距离后为发现零脉冲	检查编码器的零标记
			设置参数 P0171（基准轨迹与零脉冲间的最大距离）为较高值
163	无编码运行与运行模式不匹配	无编码运行被参数化（P1006）且“定位”模式被选定	设置运行模式为“速度/转矩设定”（P0700 = 1）
165	绝对定位块不合理	带绝对定位数据的往复运动块在坐标轴连接运动时未被允许	修正往复运动块
166	连接不成功	在实际运行状态中，连接未能建立	设置角度编码器接口（P0890，P0891）
			检查连接配置（P0410）
167	启动连接信号	只有“启动连接”输入信号有效时方可启动连接	重置“启动连接”输入信号并确认故障，再次设置输入信号以接通连接
168	过流，缓冲存储	带有排队功能的连接发生，最大 16 个位置被保存在 P0425：16	保证最大 16 个位置被存储
169	连接触发丢失	用 KOPPLUNG_ ON 命令请求同步及确认接通连接的位置时，带排队功能的连接将通过	在接通下一位置存储单元的连接前，确认从属驱动已被固定至少 1IPO 时钟周期（P1010）
170	运行往复程序时连接开关断开	在驱动执行一个往复程序时，“启动连接”输入信号被重新置位	若往复程序已完成，则连接开关断开
171	连接失败	当驱动器正在执行一个往复程序时，“启动连接”输入信号被设置	若该往复程序已完成，则接通连接
172	连接失败引起外部单元改变	若当前连接已存在，则移动单元和外部单元仅在 P0110 = 2 时才被允许同时存在	纠正往复程序，改变 P0110（配置，外部单元改变）
173	连接和移动同时停止	不能同时使连接和移动停止	纠正往复程序
174	无源基准失效	无源基准开始输入和选择“位置基准数值”操作模块时，应启动角编码接口程序	通过参数 P0890 和 P0891 设置角编码接口程序
			通过参数 P0700 选择“位置基准数值”操作模块
175	无源基准不能初始化	当主驱动器纠正零标志偏置时，从驱动器必定会通过零标志。补充信息 = 0/1/2 时，分别为未发现基准轨迹、未离开基准轨迹和未找到零基准脉冲	保证从驱动器的基准轨迹位于此基准轨迹和主驱动器的零标志之间；适当改变基准标记或通过参数 P0162 增大主驱动器上的零标志偏置值

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
501	测量电路错误，绝对电流	整流后的绝对电流（监控时间常数 P1254）比允许的功率区域电流（P1107）的 120% 大	电动机/控制器数据不正确
			替换控制模块或更改功率区域
		识别有源转子位置标志（P1019，电流）时容许电流阈值被超出	进行有源转子位置标志检测并适当减小 P1019
		电流控制器的 P 增益（P1120）设定太大	减小电流控制器的 P 增益（P1120），检测电流控制器的匹配值（P1180、P1181、P1182）
			更换控制模块或电源模块
504	测量电路错误，电动机测量系统	编码器信号级别太低、错误屏蔽，或电缆破裂使监控功能有响应	使用原始的西门子预匹配编码器电缆
			检测编码器、编码器电缆和电动机及控制模块间连接
			检查控制模块前面板（顶部螺钉）的屏幕连接
			更换编码器电缆或控制模块
			对于齿轮编码器，检查齿轮与传感器之间的间隙
505	测量电路错误，电动机测量系统绝对跟踪	为了中断一个导体，电动机绝对跟踪（CD 跟踪）处于被监控状态。对于光学编码器，其绝对跟踪在一个电动机旋转周期下会提供机械位置的估计值；对于带 EnDat 接口的绝对编码器，故障会显示初始化误差。注：故障的补充信息被包含在 IM 诊断参数 P1023 中	因编码器电缆类型错误，须更换西门子预匹配电缆
			检测编码器、编码器电缆和电动机及控制模块间连接，或其他可能的连接松动等
			更换编码器（如 ERN 替代 EQN）、控制模块或电动机。同步电动机时替换全部电动机（包括测量系统）；感应电动机时仅替换一个编码器；线性电动机时检测信号级别（打开测量系统时是否弄脏测量磁带）、扫描头调节器及电动机温度电缆的连接
			消除噪声，如编码器电缆屏蔽不良而产生噪声
507	转子位置同步错误	在实际转子位置和新的转子位置之间存在误差，通过精密同步测量可测出该误差大于 45°。在委任一个带有转子位置标志的线性电动机或 1FE1 电动机时，精密同步测试未经调节	用 P1017（委任帮助功能）调节精密同步测试
			检查编码器电缆及其连接与接地（可能存在 EMC 问题）、屏蔽等
			更换编码器、电动机或控制模块
			线性电动机时检测角度转换偏差的调节、电动机温度电缆的连接等

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
508	电动机测量系统零标志监控	已被测量的转子位置在2个编码器零标志（编码器线条可能已经不存在）之间波动。注：编码器监控功能可用P1600．8禁用	使用原始的西门子预匹配编码器电缆
			检测编码器、编码器电缆和电动机及控制模块间连接
			更换编码器、电动机或控制模块。同步电动机时替换全部电动机（包括测量系统）；感应电动机时仅替换一个编码器；线性电动机时自Renishaw引进的RGH22B测量系统中BID信号必须与0V相接（在一个方向上的参考标志）
			对于齿轮编码器，检查齿轮与传感器之间的间隙
509	驱动转换器极限频率超出	实际速度值已经超出了最大允许值	编码器脉冲数太低，在P1005里输入实际脉冲数
			检测P1400（额定电动机转速）、P1146（最大电动机转速）、P1147（最小实际速度值）、P1112（电动机电极对数）和P1134（额定电动机频率）
512	直接测量系统的测量电路错误	编码器信号级别过低、错误屏蔽，或电缆破裂使监控功能有响应	参照代码504的排除方法
513	测量电路错误，直接测量系统绝对跟踪	对于带EnDat接口的绝对编码器，故障会显示初始化误差。注：故障的补充信息被包含在DM诊断参数P1033中	因编码器电缆类型错误，须更换西门子预匹配电缆
			更换编码器（如ERN替代EQN）、控制模块或电动机
			检测编码器、编码器电缆和电动机及控制模块间连接，或其他可能的连接松动等
			消除噪声，如编码器电缆屏蔽不良而产生噪声
514	直接测量系统零标志监控	在测量评估上一个起伏可能发生在2个编码器的零标记上（编码器脉冲丢失）。注：编码器监控功能用P1600．14禁用	使用原始的西门子预匹配编码器电缆
			对于齿轮编码器，检查齿轮与传感器之间的间隙
			检测编码器、编码器电缆和电动机及控制模块间连接，或其他可能的连接松动等
			更换控制模块或电动机
515	电源模块超温	电源部分的温度是通过一个在热量接收器上的温度感应器感应的，驱动器是在热量接收器温度报警20s后立即停止运转，以防电源部分损坏（再生停止）	提高驱动器模块的冷却速度，如高压气流冷却驱动器模块，避免频繁加速度和刹车，检查电源部分与进给轴/主轴的匹配性；对Planning Guide，可降低周围的温度，减小过高的脉冲频率，检查并更换风扇，保持电源模块清洁无灰尘

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
597	Profibus：不同步传动	补充信息 = 0x01：主要生命符号（STW2，bit12 ~ 15）存在连续不断的错误，并超出了参数 P0879：2 ~ P0879：0 定义的生命符号容许错误（Profibus 配置） 补充信息 = 0x02：工作中整体控制时钟脉冲的周期超出 DP 时钟脉冲周期 说明：x 为 0 ~ 9 的数字	检查 Profibus 通信是否短时中断或持续中断
			检查 Profibus 主站是否能在时钟脉冲周期内同步操作并将其操作在 DP 时钟脉冲周期内输出
			检查同步时钟脉冲（不受主站控制）是否已在总线配置中被激活
			检查主要生命符号（STW2，bit12 ~ 15）是否在参数给定的时钟脉冲周期内被接收并处于递增状态
598	Profibus：同步错误	补充信息 = 0x01：预期的第 1 个整体控制时钟脉冲周期未在等待时间内出现 补充信息 = 0x02：PLL（时钟周期同步操作的锁相环路模块）同步未成功 补充信息 = 0x03：在时钟脉冲周期同步时，整体控制时钟脉冲周期已出现多个超出允许的错误 补充信息 = 0x06：以帧为单位的流程数据（定位点方向）只有在从属数据失效后才能被接收	检查 Profibus 主站是否能在时钟脉冲周期内同步操作，及必需的整体控制数据是否能在同步操作的时钟脉冲周期内输出
			检查同步时钟脉冲（不受主站控制）是否已在总线配置中被激活
			检查由参数给定的等距 DP 时钟脉冲周期是否在主站上被设置和激活
			检查被定义在主站软件内的时间 Tdx 是否与所有从属数据的实际传输时间相对应，及是否小于配置时间
599	Profibus：循环数据转移被切断	主站与从站间的循环数据转移被切断实际是因循环帧丢失、参数或配置帧的接收丢失。例如：总线连接中断、主站再次高速运行或变为“清除”状态	检查主站到总线的连接；在循环数据转移再次运转时，确认错误
601	AD 转换故障，端子 56/14 或 24/20	当端子 56．x/14．x 或 24．x/20．x 指示输出 A/D 转换时，发现一个不正确或错误的定时误差（x = A 或 B）	替换闭环控制模块
602	开环扭矩控制 oper. w/o 编码不允许	在 IM 模式里开环转矩控制操作是经由输入终端或经由 Profibus – DP 挑选出来的	取消选定转矩控制操作或离开 IM 模式（完全改变速度 P1465）
603	完全改变非参数电动机数据调整	试验导致电动机数据非参数的调整	进行参数化电动机数据调整
605	位置控制器输出限制（因位置控制器超出电动机的最大速度而使固定点被请求）	编程速度（P0082：64）过高	减小 P0082：64
		最大加速度（P0103）或减速度（P0104）过高	减小 P0103 与 P0104
		轴超负荷或传导阻滞	减小切削量，适当调整导轨副、滚珠丝杠螺母副的传动间隙，改善润滑条件以减小阻力

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
606	流通控制器输出限制（最大电流虽输入但指定的流通固定点不能被识别）	电动机数据不正确或严重错误	纠正电动机数据；需要时可增加电源部分的供应
		电动机数据和电动机线路（星形/三角形）不匹配	
		电动机电流限制（0.9 × P1238 × P1103 < P1136）或电源部分过低	
607	电流控制器输出限制	最大电压虽被输入但被输入的固定点不能被电动机识别，原因可能为电动机未连接或缺相	检查连接电缆、电动机/驱动器转换及电动机电流接触器
			检查 DC 总线连接的状态及 DC 链接电压是否存在
			电源部分 Uce 监控是否作出反应（电源开关重新启动）
			更换电源部分或控制模块
608	速度控制器输出限制	速度控制器在未经许可的转矩或当前限制下被长时间（P1605）控制，监控器作出反应时的最大速度参数为 P1606 对于同步电动机，在正确操作、合理优化轴驱动器时既不会达到其电流限制也不会有较大速度变化（从正向至负向的快速进给往复移动）；通常 P1605 = 200ms，P1606 = 8000r/min 对于感应电动机，加速与刹车的最大转矩/电流与平时一样，但需监控驱动器的停滞零速度；通常 P1605 = 200ms，P1606 = 30r/min	检查电动机、驱动器与电流接触器的连接
			检查转矩缩短量（P1717）与编码器脉冲数（P1005）
			检查 DC 总线连接的状态及 DC 链接电压是否存在
			除去电动机侧障碍，检查电动机、编码器是否连接（含接地）以及电动机电缆和编码器电缆的完好状态
			检查编码器轨迹转动方向（如齿轮编码器，P1011）
			替换电源部分或控制模块；改变 P1605 和 P1606 以适应轴的机械性能与动态特性；检查转矩减少是否被介入，并经由 P1717 进行诊断（0% 为无转矩、100% 为满转矩）
			线性电动机：检查实际值的反馈，增大电动机最大电流的减少值（P1105），检查电源线的连接等

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
609	编码器超越限定频率	不适当的编码器或不完善的控制模块	输入正确的编码器数据，替换编码器或控制模块
		P1005 同编码器脉冲不能匹配	检查编码器脉冲数（P1005）
		编码器功能不完善或电动机电缆老化/未正确连接	正确连接/替换编码器电缆或减少速度输入起始点（P1401）
610	转子位置测定失败	P1075 = 1（基于饱和技术）时，一个转子位置不能从测量信号（电动机电流）中测出，同时也不会出现明显的饱和现象。细节诊断也可参考 P1734	经 P1019 提高电流值，增大电枢感应系数（P1116）
			查连接电缆、电机/驱动器转换及电动机电流接触器
			检查 DC 总线连接的状态及 DC 链接电压是否存在
			电源部分 Uce 监控作出反应（电源开关重新启动）
			替代电源部分或控制模块
		P1075 = 3（基于动态技术）时，电流增加太低，或最大容许持续时间超出，或未发现明确的转子位置	电动机或电动机动力电缆未正确连接，应检查并更换
			去掉多余的外力（如联轴器不释放等），减小 P1076 使识别技术保持稳定，使用更高分辨率的编码器，改善编码器的安装
			电动机轴须自由转动（电动机转子不能锁住等），增大 P1019 以减少高速轴的摩擦
611	转子位置测定中非法运作	在转子位置测定（电动机电流测量）中，电动机旋转超过了参数 P1020 的规定值。旋转可能是由电动机运转时的已有动力引起或测定程序本身导致	P1075 = 1（基于饱和技术）时，减小 P1019 或增大 P1020，测定过程中锁住电动机转子
			P1075 = 3（基于动态技术）时，增加参数化负载质量（P1076），提高最大容许运动值（P1020），减小电流转子位置测定值（P1019）
612	转子位置测定时识别非法电流	电流≥1.2×1.05×（P1107）或电流≥P1104 时转子位置测定被激活	检查并减小 P1019（电流，转子位置识别）

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
613	暂时关闭限定，电动机超越极限温度（P1607）	电动机温度（温度传感器 KTY84 测量并经编码器电缆送至合适模块）超越 P1607 的规定	避免连续地加速和制动操作
			电动机超载；驱动时检查电动机输出是否足够，更换一台更有力的电动机或连接一个较高等级的电源部分
			检查电动机数据（不正确数据使电流过高）
			检查温度传感器（温度监控器失效时 P1601 二进制数的第 13 位为 1）、电动机风扇及编码器电缆；适当降低 P1230 或 P1235
			线性电动机：检查电动机温度监控器参数 P1602（报警门槛，电动机极限温度）= 120℃，P1603（计时，电动机温度报警）= 240s，P1607（暂时关闭限定，电动机温度）= 155℃，P1608（固定温度）≥0℃ 时温度传感器应处于激活状态。若温度监控器由外部 PLC 控制，则固定温度须达到 P1608（如 80℃）。检查电动机电源接头，在电源电缆末端处检查温度传感器电缆的连接（20℃ 约 580Ω）；检查测量系统的 X411 接头连接，当撤走 X411 接头且 20℃ 时，编码器 13 和 25 管脚间的电阻约为 580Ω；仅连接 KTY84 以使驱动器平行，或串联温度开关和温度传感器时温度传感器（NC 触点）被响应，或温度开关损坏
614	电动机迟滞停机（P1602/P1603）	电动机温度（KTY84 测量并经编码器电缆送至合适模块）超出极限温度（P1602）时，电动机由运行至停转的时间比 P1603 的值长	除参数 P1601 位 14 = 1 禁用电动机温度检测外，其他均与代码 613 的排除方法相同
615	DM 编码器限定频率被超出（直接测量系统的速度实际值超出编码器限定频率）	不适当的编码器或不完善的控制模块	输入正确的编码器数据，替换编码器或控制模块
		P1007 同编码器脉冲数不一致	检查编码器脉冲数（P1007）
		编码器功能不完善或电动机电缆老化/未正确连接	正确连接/替换编码器电缆或减少速度输入起始点（P1401）
680	非法的电动机代码	电动机代码（P1102）被输入为未提供的数据	再次启动并输入正确电动机代码（P1102）
681	非法电源模块代码数	电源模块代码（P1106）被输入为未提供的数据	输入正确的电源模块代码（P1106）；自动识别并升级电源模块的固件
682	P\%U 中非法的编码器代码数	P1006 或 P1036 中，编码器代码数被输入为未提供的数据，尽管编码器在 P1036 中未被指定但直接测量系统（P0250/P0879.12）已被激活	输入正确的编码器代码或在 P1006（P1036）中为第三方编码器（99）输入代码；取消直接测量系统（P0250/P0879.12）

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
683	首次启动（P\%）运算控制器的数据是不成功的	首次启动中运算控制器的数据出现了一个错误。在故障条件下，电流控制器、流量控制器及速度控制器不能达到最优的赋值	从 P1080 中逐条读出错误并消除错误后，随 P1080 = 1 再次启动运算控制数据；重复该操作直到 P1080 无错误显示，然后存入 FEPROM 并重启电源。P1080 中错误代码提供的信息：15 – 磁性电抗（P1141 = 0），16 – 漏泄电抗（P1139/P1140 = 0），17 – 旋转电动机频率（P1134 = 0），18 – 转子电阻（P1138 = 0），19 – 电动机转动惯量（P1117 = 0），21 – 磁场减弱的速度阀值（P1142 = 0），22 – 电动机静止电流（P1118 = 0），23 – 最大电动机电流（P1104）与电动机恒定电流（P1118）的比例远大于最大转矩限定（P1230）与功率限定（P1235）的比例，24 – 电动机的额定频率（P1134）与额定转速（P1400）的比例是不准许的（极对数）
703	无效的电流控制器周期	P1000 中输入一个非法的值	P1000 中输入一个有效值，单轴定位时 P1000 中输入 2（62.5μs），或每次操作模式中速度设定值输入 4（125μs）
704	无效的速度控制器周期	P1001 中输入一个非法的值	P1001 中输入一个有效的值 2（62.5μs）、4（125μs）、8（250μs）或 16（500μs），单轴操作时仅可输入 2（62.5μs）且 P1001≥P1000
705	无效的位置控制器周期	允许界线范围外的位置控制器周期（P1009）被监控功能确定	P1009 中输入一个有效的值，此值在 32（1ms）和 128（4ms）之间；此外，位置控制器周期必须是速度控制器周期的整数倍
706	无效的插补周期	允许界线范围外的插补周期（P1010）或在插补周期与位置控制器周期（P1009）的非法比例被监控器识别	P1010 中输入一个有效的值，此值在 128（4ms）和 640（20ms）之间；纠正 P1009。此外，插补周期必须是位置控制器周期的整数倍
708	电流控制器周期中的轴向偏差	双轴模块中电流控制器周期不同于其他两轴	查 P1000 并在两个驱动器中输入一个相同的值
709	速度控制器周期中的轴向偏差	双轴模块中速度控制器周期不同于其他两轴	查 P1001 并在两个驱动器中输入一个相同的值
710	位置控制器周期或插补周期中的轴向偏差	双轴模块中位置控制器周期（P1009）或插补周期（P1010）不同于其他两轴	查 P1009/P1010 并在两个驱动器中输入一个相同的值
716	转矩常量错误	P1113 中额定转矩与额定电流的比例不正确（≤0），或 P1113 与 P1112 的比率 > 70	在 P1113 中为电动机输入正确的转矩与电流比率或 P1113 与 P1112 的允许比率。第三方电动机时转矩常数应从电动机数据栏中确定，西门子电动机时转矩常数应从电动机代码（P1102）中确定

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
719	电动机三角形运转不起作用	用 P1013 时激活 Y－△转换时，该电动机三角形运转操作（电动机 2）不能被参数化	检查并输入三角形运转操作（电动机 2）的参数
720	电动机的最大速度错误	P1401 的电动机最大速度和 P1001 的速度控制器周期超出而导致格式溢出	检查并纠正 P1401 和 P1001
723	STS 配置中的轴向偏差	双轴模块中控制单元配置（P1003）不同于其他两个控制单元	检查 P1003 并为两个模块轴输入少量同样的数据（不要改变标准配置）
724	电动机极对数（P1112）错误	同步电动机：P1112 为零或负数，编码器带 CD 轨迹（P1027.6＝0）时 P1112＞6，编码器不带 CD 轨迹或为霍尔传感器（P1027.6＝1）时 P1112 取决于编码器的脉冲数	同步电动机：检查 P1112、P1027 和 P1014
		感应电动机：一个错误的极对数被确定在 P1134 到 P1400 范围内	感应电动机：确定并修正电动机的额定速度与额定频率
725	编码器脉冲数错误	电动机测量系统的编码器脉冲数（P1005）被设置为零	在 P1005 中协调电动机测量系统的编码器脉冲数，直至编码器能使用。同步电动机和异步感应电动机配置间接测量系统的标准设置为 2048 脉冲/转
726	电压常数错误	P1114 中电动机的电压常数被设置为零	重新设置电动机电压常数（P1114），第三方电动机时电压常数应从电动机数据栏中确定，西门子电动机时电压常数应从电动机代码（P1102）中确定
727	电源模块与同步电动机间联合错误	对于同步电动机，电源模块未被释放	检查配置并使用正确的电源模块
728	转矩/电流匹配因子太高	固定点转矩与速度控制器中转矩生成电流 Iq 间的匹配因子太高	检查并纠正 P1103、P1107 和 P1113，第三方电动机时该值从电动机数据栏中确定，西门子电动机时电压常数应从电动机代码（P1102）中确定
729	电动机堵转电流错误	电动机堵转电流值（P1118）≤0	重设 P1118，第三方电动机时该值从电动机数据栏中确定，西门子电动机时该值从电动机代码（P1102）中确定
731	额定输出错误	电动机额定输出值（P1130）≤0	重设 P1130，第三方电动机时该值从电动机数据栏中确定，西门子电动机时该值从电动机代码（P1102）中确定
732	额定速度错误	电动机额定速度（P1400）值≤0	重设 P1400，第三方电动机时该值从电动机数据栏中确定，西门子电动机时该值从电动机代码（P1102）中确定

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
744	电动机转换仅允许在闭环速度控制模式	电动机转换（P1013）只在闭环速度控制模式（P0700 = 1）下被激活	P1013 = 0 抑制电动机转换，P0700 = 1 变为闭环速度控制模式
756	电流平滑设定点的滞后速度错误	电流平滑设定点的滞后速度（P1246）≥滞后阀值速度（P1245）	P1246（标准值：50r/min）< P1245（标准值：4000r/min）开端速度
757	PZD 配置：P0922 不合规定	P0922 中的帧数非法，或经 P0700 选择的当前操作模式不允许	检查 P0922 并输入正确值
759	编码器与电动机类型不匹配	已选线性电动机但未配置线性尺度（P1027.4 = 0），已选旋转电动机但配置了线性尺度（P1027.4 = 1）	正确设置编码器类型参数
761	P0892 不能用于该测量系统	使用 sin/cos 1Vpp 的不带 EnDat 接口的增量测量系统，P0892 不可设置额外因素	设置 P0892（因素，角度编码器脉冲数/编码器脉冲数）为 0
762	P0893 不能用于此测量系统	使用 sin/cos 1Vpp 的不带 EnDat 接口的增量测量系统及带 EnDat 接口的线性测量系统，零脉冲偏移不能通过 P0893 设置	设置 P0893（角度编码器脉冲零偏移）为 0
764	终端 A 或 B 的多重分配任务	P0890 选 3 时，确定的终端 A 或 B 的设置点已被用于其他驱动器，故该配置不可能	在 P0890 上检查终端 A 和 B 的配置，并排除两个驱动器的多重设置
765	P0890 和 P0891 上配置有两个定点输入	所连开关的实际值在驱动器 B（P0891 = 1）上；但对于同一驱动器，终端 A 或 B 被作为位置定点输入 P0890 = 2 或 3	在 P0890 中检查终端 A 和 B 的配置，比较 P0891 并消除多重定位点资源
766	阻塞频率 > 采样频率	速度设定点的阻塞频率 > 按采样原理得到的采样频率	P1514（过滤器 1）或 P1517（过滤器 2）的阻塞频率必须小于两个速度控制器时钟周期的逆值 $\frac{1}{2\times P1001\times 31.25\mu s}$
767	固有频率 < 采样频率	速度设定点滤波器的固有频率 < 按采样原理得到的采样频率	速度设定点滤波器的固有频率必须小于两个速度控制器周期的倒数。速度设定点滤波器 1： $P1520\times 0.01\times P1514<\frac{1}{2\times P1001\times 31.25\mu s}$ 速度设定点滤波器 2： $P1521\times 0.01\times P1517<\frac{1}{2\times P1001\times 31.25\mu s}$

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
768	电流或速度设定点滤波器的计数器频带宽 > 两倍阻塞频率	速度设定点滤波器 1：P1516 > 2 × P1514 或 P1520≠100	计数器的频带宽必须小于两倍阻塞频率（下同）速度设定点滤波器 1：P1516 ≤2 × P1514
		速度设定点滤波器 2：P1519 > 0 或 P1521≠100	速度设定点滤波器 2：P1519≤2 × P1517
		电流设定点滤波器 1：P1212 > 0	电流设定点滤波器 1：P1212≤2 × P1210
		电流设定点滤波器 2：P1215 > 0	电流设定点滤波器 2：P1215≤2 × P1213
		电流设定点滤波器 3：P1218 > 0	电流设定点滤波器 3：P1218≤2 × P1216
		电流设定点滤波器 4：P1221 > 0	电流设定点滤波器 4：P1221≤2 × P1219
769	电流或速度设定点滤波器的分母带宽 > 两倍固有频率	速度设定点滤波器 1：P1516 > 2 × P1514 或 P1520≠100	滤波器的分母带宽必须小于两倍固有频率（下同） 速度设定点滤波器 1：P1515≤2 × P1514 × 0. 01 × P1520
		速度设定点滤波器 2：P1519 > 0 或 P1521≠100	速度设定点滤波器 2：P1518≤2 × P1517 × 0. 01 × P1521
		电流设定点滤波器 1：P1212 > 0	电流设定点滤波器 1：P1211≤2 × P1210
		电流设定点滤波器 2：P1215 > 0	电流设定点滤波器 2：P1214≤2 × P1213
		电流设定点滤波器 3：P1218 > 0	电流设定点滤波器 3：P1217≤2 × P1216
		电流设定点滤波器 4：P1221 > 0	电流设定点滤波器 4：P1220≤2 × P1219
770	格式错误	内部格式不能描述所计算的带阻滤波器系数	改变滤波器设置
771	感应电动机运转时驱动转换器的频率不允许	感应电动机运转（P1465 < P1146）时，驱动转换器的允许频率为 4kHz 或 8kHz	改变 P1100 或取消感应电动机运转（P1465 > P1146）
772	感应电动机运转时速度控制器增益大太	速度控制器的 P 增益（P1451）太高	P1451 中输入一个较低的值作为速度控制器的 P 增益（P1451）
773	不允许现行近似输入	该特定的硬件版本不允许现行近似输入	设置 P0607 = 0 和 P0612 = 0，或使用 SIMO-DRIVE 611U 控制模块
774	感应电动机运转时电动机速度转换不允许	混合操作（有或无编码器）P1465 > 0，仅允许闭环控制的感应电动机运转（P1466≤P1465）	通过选择单一感应电动机运转（P1465 = 0）或取消感应电动机开环控制的操作（P1465 > P1466），来消除误差
775	SSI 绝对编码器不正确的参数表示，补充信息 \ % u 说明：x 为 0 ~ 9 的数字	补充信息 = 0x1，0x11（间接/直接测量系统）：单圈分辨率不能为零	查 P1022 和 P1032
		补充信息 = 0x2，0x12（间接/直接测量系统）：参数化比特的数量 > 电报长度	结合 P1028 查 P1021、P1022、P1027. 12 和 P1027. 14 结合 P1041 查 P1031、P1032、P1037. 12 和 P1037. 14
		补充信息 = 0x3，0x13（间接/直接测量系统）：线性编码器不能有多圈分辨率	查 P1021 和 P1031

（续）

代码	报 警 内 容	报 警 原 因	排 除 方 法
777	识别转子位置的电流太高	P1019 参数化的电流大于电动机和电源模块使用的电流	经 P1019 降低电流
778	转子位置识别不许的转换频率	选择转子位置识别（P1019）时，驱动转换器的允许频率（P1100）为 4kHz 或 8kHz	改变驱动转换器的频率（P1100），取消转子位置识别（P1019）
779	电动机转动惯量，电动机\%d 无效	电动机转动惯量（P1117≤0）不正确	P1117 内输入有效的转动惯量；第三方电动机时该值从电动机数据栏中确定，西门子电动机时该值从电动机代码（P1102）中确定
780	电动机空载电流 > 电动机额定电流（电动机\%d）	参数化的电动机空载电流（P1136）大于电动机额定电流（P1103）	P1136 和 P1103 内输入有效数据；第三方电动机和西门子电动机时分别由电动机数据表和电动机代码表（P1102）决定所需电流
781	电动机空载电流\%d > 电源模块的额定电流	P1136 设定的电动机空载电流高于电源模块的额定电流；SW2.4 之前电源模块的额定电流 = P1111，SW2.4 时电源模块的额定电流 = P1111 × P1099	P1136 内输入有效电流，第三方电动机和西门子电动机时分别由电动机数据表和电动机代码表（P1102）决定所需电流，减小电源模块的脉冲频率（P1100）
782	电动机电抗\%d 非法	电动机的定子漏抗（P1139）或转子漏抗（P1140）或磁化电抗（P1141）不正确（≤0）	据所用电动机的定子/转子漏抗和磁化电抗，修正 P1139，P1140 和 P1141；第三方电动机和西门子电动机时分别由电动机数据表和电动机代码表决定这三个值
783	电动机转子电阻\%d 非法	电动机的冷转子电阻（P1138）不正确（≤0）	据所用电动机的冷转子电阻修正 P1138；第三方电动机时检查 P1001（速度控制器周期）、P1134（额定电动机频率）、P1138（转子电阻）、P1139（定子漏抗）和 P1140（转子漏抗）并用电动机数据表改正；西门子电动机时用电动机代码表（P1102）确定转子电阻
784	电动机空载电压\%d 非法	电动机空载电压（P1135）错误，如 P1135≤0 或 P1135 > P1132 或 P1135 × P1142 ÷ P1400 + 0.181 × P1136 × P1142 × P1119 > 450V	据所用电动机的空载电压修正 P1135；第三方电动机时检查 P1119（串联电抗器的电感）、P1132（电动机额定电压）、P1135（电动机空载电压）、P1400（电动机额定转速）、P1142（阻尼场的临界速率）和 P1136（电动机空载电流）并用电动机数据表改正；西门子电动机时用电动机代码表（P1102）确定空载电压
785	电动机空载电流\%d 非法	电动机空载电流（P1136）不正确（≤0）	据所用电动机的空载电流修正 P1136；第三方电动机和西门子电动机时分别由电动机数据表和电动机代码表（P1102）确定电动机的空载电流

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
786	电动机的阻尼场速率 \ %d 速率无效	感应电动机（P1142）阻尼场的临界速率不正确（≤0）	据所用感应电动机阻尼场的临界速率修正 P1142；第三方电动机和西门子电动机时分别由电动机数据表和电动机代码表（P1102）确定阻尼场的临界速率
787	感应电动机运转时电动机前馈控制增益 \ %d 不能显示	电动机的转动惯量和额定转矩选择不当，导致感应电动机的前馈控制增益不能用内部数字格式表示	无编码器运转时，编码器脉冲数（P1005）用于内部数字格式并缩减该数字；带编码器运转时，减小速度控制器周期（P1001）
788	P0891 仅用于驱动器 B	硬件不允许：一个实际值连接被激活（P0891 = 1）给驱动器 A	驱动器 A 时设置 P0891 = 0
789	设定点转换 SimoCom U = = > 驱动中断	SimoCom U 到驱动的在线连接被中断。SimoCom U 横过驱动器时，其他功能在 PG/PC 上执行而使驱动器仅能从 SimoCom U 获得不规则供应	检查 SimoCom U 是否运转正常，不正常时重新开始；检查通信联系是否畅通，否则重新布置连接电缆；在线模式时不选择任何时间加强功能
790	模块或轴选择的操作模式（P0700）非法。补充信息：\ %u 说明：x 为 0 ~ 9 的数字	补充信息 = 0x1：第 1 轴选择操作模式 = 0	选择有效的操作模式（P0700 > 0）
		补充信息 = 0x2：Nset 控制模块选择 Positioning 模式	选择 Nset 操作模式或使用一个定位模块
		补充信息 = 0x3：固件版本不支持该操作模式	用支持该操作模式的固件版本替换
		补充信息 = 0x4：禁用外部参考点定位模式	选择 Positioning 模式
791	TTL 编码器接口参数化不正确	特定硬件版本的 TTL 编码器接口被参数化为 Drive A：P0890 = 0/4（0 为待用接口，4 为 TTL 编码器输入）和 Drive B：P0890 = 0	设定 P0890 为允许值
792	直接测量系统参数化错误，补充信息：\ %U 说明：x 为 0 ~ 9 的数字	补充信息 = 0x1：直接测量系统不适用于此版本	更换为合适的版本
		补充信息 = 0x2：直接测量系统不能同时操作驱动器 B	直接测量系统对驱动器 A（P0250/P0879.12 = 0）有效或关闭驱动器 B（P0700 = 0）
		补充信息 = 0x3：直接测量系统激活且驱动器 A 被设置为无编码器操作（P1027.5 = 1）	直接测量系统对驱动器 A（P0250/P0879.12 = 0）有效
793	驱动器 A 与 B 的编码信号波不同	输入到角度编码器的信号波对于驱动器都一样	检查驱动器的 P0894 并使其一致
794	驱动器 B 禁止（P0890 = 3）	角度编码器接口设置不适合驱动器 B	检查驱动器 B 的 P0890 并设置合适的数值

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
795	标准编码器位置数值的标准因素过大，补充信息：\%u	位置参考数值标准不适用于标准编码器接口。补充信息 = 1：P0401 × P0895 < 8388608；补充信息 = 2：P0402 × P0896 < 8388608	检查 P0401，P0402，P0895 和 P0896，减小 P0401 × P0895 的分子和 P0402 × P0896 的分母
797	中心频率测量出错	测量中速度过大（电流标度），中心频率在脉冲上升或下降时可自动测量	电动机速度减小时可加大驱动功率
799	需备份 FEPROM 并重起 HW	参数需重新计算并保存	重新计算的数据存在 FEPROM 中，下次模块上电时新参数会生效
804	控制使能在开/关 1 或 2/3 时错误	开始横动模块时控制使能未设置，或从静止重新启动转轴时控制使能错误。接线 64、接线 65. x（x = A 或 B）、PC 启用（SimoCom U）或 Profibus 控制信号错误时，控制使能均会出错	信号设置错误，重新启动横向模块或通过 Profibus 输入一个信号边沿
805	使能脉冲错误	开始横动模块时使能脉冲未设置，或从静止重新启动转轴时使能脉冲错误；如 NE 模块的接线 48、接线 NS1/NS2 和接线 63 的信号错误及控制模块接线 663 信号错误	设置使能信号错误，重新启动横向模块
808	未设置参考点	开始横动模块时未设置参考点	设置参考，或用参考点设置的输入信号来建立参考
814	电动机过热预报警	电动机温度经温度传感器（KTY84）估测并在驱动器侧获得，当电动机温度达到报警阈值温度（P1602）时报警	相互间行驶速度很快时应避免一些加速或制动操作，检查电动机驱动器的输出并更换大输出功率的电动机和驱动器，检查电动机数据以免错误数据导致电动机电流过高，检查温度传感器 KTY84 和电动机风扇状态
829	Profibus：不合理参数而不能循环转移数据，原因\%U	U = 8，参数结构不合理或过长；U = 9，长度数据块非法；U = 10，块首有一未知的 ID；U = 11，基础时间 Tbasedp 不允许（≠125μs）；U = 12，DP 时钟周期 Tdp 不允许（< 1ms）；U = 13，时间 Tmapc < Tdp 或 > 14Tdp；U = 14，基本时间 Tbaseio 不允许（≠125μs）；U = 15，时间 Ti > DP 时钟周期 Tdp；U = 16，时间 To > DP 时钟周期 Tdp；U = 17，数据交换时接收到了不同内容的参数化数据；U = 18，时钟周期同步操作没有被适合的选项模块选择（P0875）；U = 21，时间 Tdx > （To − 125μs）或者 > （Tdp − 250μs）；U = 23，从站间通信的访问目的地和长度不符合字边界；U = 31，参数化电报的允许最大长度超过了选项模块的规定；U = 32，选项模块的固件版本不支持从站间通信	检查主站总线的配置并修正相应参数，U = 18 时插入一块合适的选项模块并激活，U = 31 或 32 时升级选项模块的固件版本并使版本不低于 04.01

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
830	Profibus：配置错误而不能进行循环数据转化，原因 \ %U	U=1，主站上的轴配置应比电源模块供应的轴多；U=2，主站上的轴数量配置不等于 P0875 激活的轴数量；U=3，配置 PPL 类型不完整/太短（仅针对 P875=2）；U=4，未检测到 PPO 类型（仅针对 P875=2）；U=5，固件与可选模块间的长度计算不同；U=6，数据交换时接收到不同长度的新配置；U=7，配置包含未知的 S7 ID	检查主站的总线配置，需要时选择一可行的 PPO 型号，经 Profibus 用 P875 来改变轴数量的控制等
831	Profibus 不适合数据转换或数据转换被干扰	主站未启动，或与从站未建立连接；主站配置的总线地址与从站参数化总线地址不同；总线节点连接被破坏或配置不合理（如多次分配）	检查总线配置和节点分布
832	主站中 Profibus 无同步时钟脉冲	主站经总线配置已选择同步时钟信号，但它不能形成等距离的总线控制结构，增加生命符号（STW2 的 bit12～15）的主站未配置在时间框架 Tmapc 内	检查主站应用程序和总线配置（注：Profibus 在数据转换中应通过同步操作的参数结构进行选择），检查从站配置的时钟周期输入与主站上设置的脉冲周期是否一致；若主站不能传送生命符号，用 P0879 位 8 抑制生命符号评测
864	速度控制适配器参数错误	高级调速（P1412）<低级调速（P1411）	使参数：高级调速（P1412）>低级调速（P1411）
865	非法数字信号	数字信号模拟输出不允许，模拟值可输出位诊断、服务和任务优化，接线 75.x/15，16.x/15，DAU1，DAU2（x=A 或 B）	键入合法数字信号（SIMODRIVE 611 功能通用描述）
866	电流控制适配器参数错误	电流上限（P1181）<电流下限（P1180），或参数错误输出时适配不灵敏	使参数：电流上限（P118）>电流下限（P1180）
867	发电机模式：响应电压>切断阀值	（P1631+P1632）>P1633	使参数：（P1631+P1632）<P1633；或更换控制模块
868	发电机模式：响应电压>监控阀值	阀值电压（P1631）的输入值>P1630 的值	使参数：阀值电压（P1631）的输入值<P1630 的值
869	参考点坐标受模数范围所限	模数范围在内部限制了参考点的坐标	应在 P0160 中输入一个在模数范围（P0242）内的值
870	冲击时间受限	经加速度 a（P0103 和 P0104 中较大者）和冲击 r（P0107）计算冲击时间 T=a÷r 时，T 的结果非常大而使其在内部受限	应适当增大冲击参数 P0107，也可经参数 P0103 减小最大加速度或经参数 P0104 减小最大减速度

（续）

代码	报警内容	报警原因	排除方法
871	感应电动机操作：驱动转换器电动机频率不合理	感应电动机操作（P1465 < P1146）中驱动转换器的电动机频率为 4kHz 或 8kHz	改变 P1100，或取消感应电动机操作（P1465 > P1146）
875	固定电压下的轴向偏移	轴的驱动模块中设置了不相等的固定电压（P1161）	所有轴的驱动模块设置相同的固定电压（P1161）
876	终端功能 \ % U 的实际方式非法	用作输入终端或分布式输入（P0888）的功能数字不可在实际方式中使用	更改 P0700（操作模式），在 P0888、P0660 或 P0661 中输入一个合适的功能数字
878	输入 I0. x 未作为零标记数参数（x = A 或 B）	外部输入信号作为零标记（P0174 = 2）时，输入 I0. x 须设为“零标记”功能（Fct. No.：79）；使用直接测量系统时输入 I0. B 须设为“零标记”功能（Fct. No.：79）	电动机测量系统：P0660 = 79，直接测量系统：P0672 = 79
879	速度前馈控制的恒死区时间（P0205：\ % u）太高	P0205：8 的值不得大于 2 个位置控制时钟周期	减小 P0205：8 使其小于 2 个位置控制时钟周期（P1009），或由 P0206：8 设置一个附加延迟参数
885	不允许 P1261 > 100%	永磁同步电动机的磁场减弱（PE 心轴，P1015 = 1）不允许 P1261 > 100%	将 P1261 设置为最大值 100%
889	固定停止，轴尚未达到夹紧力矩	轴停止但未能完成程序设定的夹紧力矩	核对限定参数
891	正向软极限激活连接	当前主驱动器速度下该轴到达或超过正向软极限	旋转主驱动器使轴进入正常范围
892	负向软极限激活连接	当前主驱动器速度下该轴到达或超过负向软极限	旋转主驱动器使轴进入正常范围
893	功能 73 仅在终端 I0. x 有效（x = A 或 B）	终端功能 73 的 I0 连接仅在终端 I0. x 有效	分配终端 I0. x 到功能 73

参 考 文 献

［1］刘胜勇．数控机床 FANUC 系统模块化维修［M］．北京：机械工业出版社，2013.
［2］刘胜勇．车辆轮轴加工与组装［M］．北京：中国铁道出版社，2012.
［3］刘胜勇．三段式铸造桥壳热压装曲线的应用研究［J］．汽车技术，2011（7）：54－58.
［4］何利民，尹全英．怎样查找电气故障［M］．北京：机械工业出版社，1998.
［5］陈先锋，等．SINUMERIK 840D/810D 数控系统功能应用与维修调整教程［M］．北京：人民邮电出版社，2010.
［6］曹坚．西门子工业网络通信指南（上）［M］．北京：机械工业出版社，2004.
［7］曹坚．西门子工业网络通信指南（下）［M］．北京：机械工业出版社，2005.
［8］廖长初．S7－300/400PLC 应用技术［M］．2 版．北京：机械工业出版社，2011.

分享维修经验精髓

迅速掌握维修精华

成就职业规划提升



地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／机械工程／数控维修

ISBN 978-7-111-43487-0

策划编辑◎周国萍／封面设计◎马精明



定价：129.00元